

Travail Pratique de Master

IDENTIFICATION DU NOMBRE ET DE L'EMPLACEMENT DE CENTRE DE REDISTRIBUTION

Thomas Robin

Professeur responsable :
Prof. Michel BIERLAIRE

Assistant :
Carolina OSORIO

Partenaire industriel :
Daniel MARBACH, ExpressPost, Berne

28 juillet 2006

Table des matières

Introduction	4
0.1 Objectifs	4
1 Présentation des produits	6
1.1 Swiss-Express Eclair	6
1.2 Swiss-Express Lune	7
1.3 Swiss-Express Soir	7
1.4 Swiss Courier Intercity	7
1.5 Swiss Courier City	7
2 Modélisation	10
2.1 Structure de données	10
2.2 Modèles	11
2.2.1 Swiss Express Eclair	11
2.2.2 Swiss Express Lune	15
2.2.3 Swiss Express Soir	18
2.2.4 Swiss Courier Intercity	22
2.2.5 Swiss Courier City	31
3 Données	35
3.1 Matrice de distances	35
3.2 Matrice de flux	36
3.3 Matrice d'allocation	37
3.4 Paramètres	38
3.4.1 Les coûts	38
3.4.2 Les vitesses de transport	39
3.5 Passage aux NPAs à trois chiffres	40
4 Implementation des modeles	41
4.1 Méthode générale	41
4.1.1 Les flots	42

4.1.2	les hubs externes	42
4.1.3	les distances	43
4.2	Architecture du programme	44
4.2.1	Taille des modèles	45
4.2.2	Fichier solution	52
5	Resultats	54
5.1	Résultats préliminaires sur des données artificielles de petite taille	54
5.1.1	Swiss Express Eclair	54
5.1.2	Swiss Express Lune et Soir	55
5.1.3	Swiss Courrier Intercity	56
5.1.4	Swiss Courrier City	56
5.2	Résultats sur les données réelles	57
5.2.1	Swiss Express Eclair	58
5.2.2	Swiss Express Lune	60
5.2.3	Swiss Express Soir	61
5.2.4	Swiss Courrier Intercity	63
5.2.5	Swiss Courrier City	64
5.2.6	Superposition	68
	Conclusion	70
	Bibliographie	71

Introduction

Un des principaux objectifs des compagnies de distribution de lettres et de colis est de garantir des délais de livraison compétitifs. Ces délais sont fortement liés à leur réseau de distribution, notamment à sa flexibilité et à sa densité. L'objectif d'une telle compagnie est d'avoir un réseau assez dense pour pouvoir répondre sans délai à la demande, tout en tenant compte de la structure de coûts (à court et à long terme) et des flux de colis.

La compagnie ExpressPost est une succursale de PostLogistics, et s'occupe des envois à travers la Suisse et le Lichtenstein. Elle représente 430 collaborateurs, 250 véhicules et à peu près 6.5 millions d'envois par an tout service confondu. Celle-ci a lancé le projet de réorganisation "Disposition EP" sur la base de la mesure stratégique de professionnalisation du système de planification. Lors de la définition des processus principaux et secondaires, il a fallu également déterminer les meilleurs emplacements géographiques des plateformes logistiques (hubs) ainsi que leur nombre et leur taille au sein d'ExpressPost. La plupart des emplacements existants, dont le développement est lié à l'histoire de l'exploitation postale, méritent d'être soumis à un examen approfondi. La structure de ces plateformes logistiques est examinée par le biais de ce travail. Cette structure est directement impliquée dans le fonctionnement du service de production "EP6" qui s'occupe du traitement et de l'acheminement des colis. L'organisation d'ExpressPost est présentée à la figure 1.

0.1 Objectifs

L'objectif de ce travail est de déterminer la structure optimale du réseau de transport des colis, sans tenir compte de la capacité de traitement des hubs (nombre de colis transitants par chaque hub), pour chacun des services proposés par ExpressPost. Ceci signifie de placer au mieux les hubs afin de minimiser les coûts globaux, c'est à dire à la fois de transport et de traitement (coût lié au tri des colis par exemple), tout en garantissant une livraison des

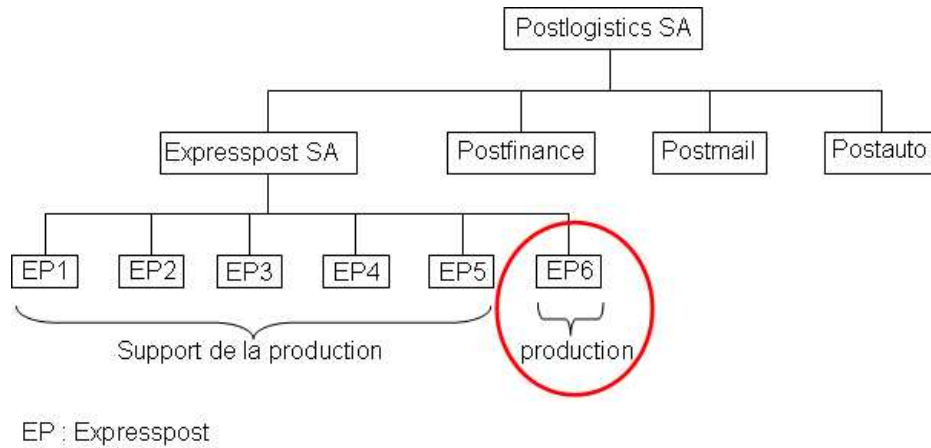


FIG. 1 – Organisation de PostLogistics.

colis dans les délais impartis et convenus avec le client.

La démarche adoptée a été la suivante :

- Etudes des méthodes de modélisation et d’optimisation pour ce problème ;
- Compréhension du contexte particulier d’ExpressPost, notamment de la structure des coûts et de la demande (clients) ;
- Identification des données et ressources nécessaires pour l’implémentation des modèles ;
- Implémentation des modèles pour chacun des quatre produits d’ExpressPost : détermination du réseau, des flux et des coûts associés ;
- Détermination des extensions et des limites des solutions proposées.

Nous reprendrons dans ce rapport l’ensemble de ces points.

1 Présentation des produits

1.1 Swiss-Express Eclair

Le dépôt du colis se fait avant midi dans un des 220 offices de poste concernés et est distribué dans la même journée avant 17h. La zone de couverture de ce service est présentée à la figure 1.1, et est communément appelée "banane", région transversale de la Suisse. Nous verrons plus tard que cette zone est divisée en deux, avec un fonctionnement identique pour chacune des régions. Ce service utilise actuellement 35 hubs de distribution, PostColis et ExpressPost et concerne essentiellement les envois "business to customer". Le prix client est forfaitaire.

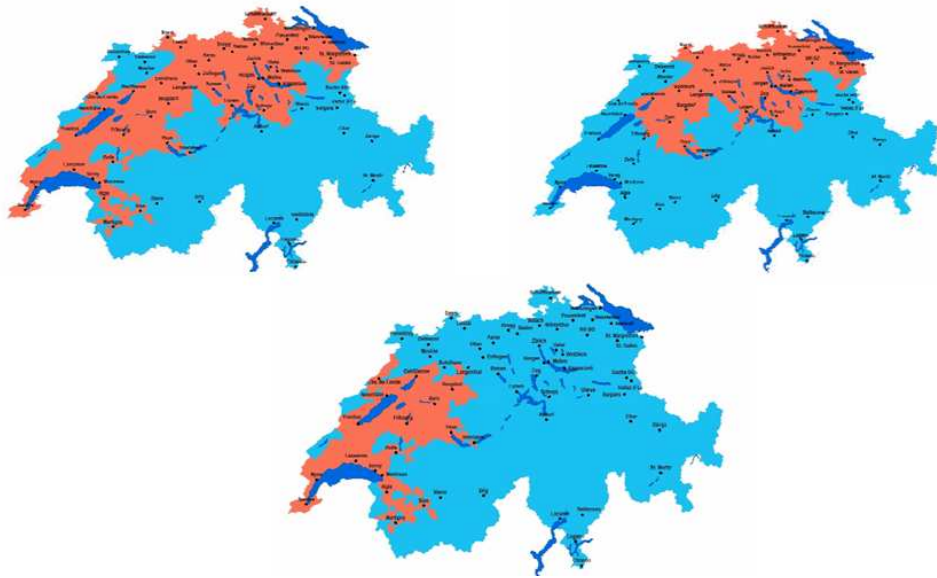


FIG. 1.1 – Zone de couverture du service Eclair(Région de couverture globale en haut à gauche, couverture ouest en haut à droite, couverture est en bas).

1.2 Swiss-Express Lune

Le dépôt du colis se fait dans un des 2500 offices de poste concernés avant la fermeture du guichet, et est livré avant 9h le lendemain matin. Ce service utilise 1500 hubs de distribution, PostColis et ExpressPost. Il concerne essentiellement les envois "business to customer". Le prix client est forfaitaire.

1.3 Swiss-Express Soir

Ce service concerne deux types de clients. Les particuliers représentent 10% de la clientèle, dans ce cas le fonctionnement est le même que pour le produit Eclair, sauf que le dépôt du colis peut se faire jusqu'à la fermeture à 17h et la livraison s'effectue le même jour jusqu'à 22h. Le prix client est forfaitaire. La vente par correspondance représente 90% de la clientèle, dans ce cas les colis sont directement acheminés au hub de distribution par le client (par un transporteur directement mandaté par lui) , soit hub PostColis, soit hub ExpressPost, puis acheminés aux destinataires. Le prix est fixé par contrat et dépend de la localisation des destinataires, ainsi que du nombre de colis à traiter. Les délais de livraison sont les mêmes que pour le premier type de clients.

1.4 Swiss Courrier Intercity

Ce service fonctionne entre 7h et 17h. Le colis est directement pris en charge par ExpressPost, du client jusqu'au destinataire, et est distribué en un minimum de temps jusqu'à 22h. L'heure de distribution est communiquée au moment de la commande. Ce service utilise 64 hubs de distribution et le transport inter hubs s'effectue en train. Les hubs sont de deux types Post-Mail ou ExpressPost. Le prix est variable et dépend fortement de la distance parcourue.

1.5 Swiss Courrier City

Ce service fonctionne entre 7h et 20h. Les caractéristiques sont les mêmes que pour l'Intercity, hormis le fait que client et destinataire se trouvent dans la même ville. Les 64 hubs de distribution utilisés sont les mêmes que précédemment.

Bien que différents, ces produits utilisent une structure commune, une partie du réseau de distribution est générée. Par conséquent des flux des colis de tout type transitent par de mêmes hubs.

Revue de la littérature

Les références des articles étudiés sont mentionnées dans la partie bibliographie de ce document. L'étude de ceux-ci s'est faite en détail durant la première partie du travail et les apports ont été multiples. D'une part en ce qui concerne l'élaboration des modèles et la formulation des programmes linéaires, ainsi que les hypothèses s'y rapportant. D'autre part pour les méthodes de résolution. Le problème de localisation et d'allocation de hubs (sans prendre en compte les capacités de traitement de colis par les hubs) est bien connu et largement traité. Les techniques de résolution pour ce type de problème se scindent en deux grandes catégories : les méthodes **optimales** et les méthodes **heuristiques**. les "optimales" sont utilisées pour des modèles de petite à moyenne taille, dans le cas où l'espace des solutions peut être entièrement exploré. Contrairement aux "heuristiques" qui concernent les problèmes de grande taille, où l'espace des solutions est trop vaste pour en avoir une vision globale. Dans ce cas l'exploration est limitée et consiste à chercher par des algorithmes appropriés à atteindre après un nombre fini d'itérations un extremum local de la fonction objectif, que l'on espère global.

Ici nous allons utiliser de manière préférentielle des résolutions optimales, et en second recours des heuristiques, comme nous le verrons pour le problème quadratique dans le cadre du service Intercity, et qui sera décrit ultérieurement.

D'un point de vue plus pratique concernant l'implémentation des modèles, les documentations des langages **Java** et **Python** ont été d'une aide précieuse concernant notamment pour le premier les classes et méthodes s'y rapportant. Pour le logiciel **Cplex** la documentation a permis à la fois de connaître son fonctionnement, mais également son utilisation au sein d'une interface (en java), et toutes les informations sur les objets "spéciaux" définis dans les librairies **Ilog**.

2 Modélisation

Une démarche systématique a été adoptée dans l'approche de ces modèles pour chacun des produits afin de simplifier les formulations des programmes linéaires et d'effectuer une implémentation plus facile. Cette démarche est la suivante :

1. Identifier le schéma de transport général d'un colis propre au service ;
2. Identifier les données nécessaires, telles que les différents coûts, temps de traitement, flots de colis, et emplacements des infrastructures disponibles ;
3. Identifier les éléments variables dans le schéma de transport ;
4. Formuler le programme linéaire.

L'unité géographique de modélisation est la région postale définie par un code postal, appelé NPA dans la suite. Ceci signifie que la Suisse est discrétisée suivant ces NPAs, et que toutes les données et variables de décision se rapportent à ceux-ci. Par exemple il pourra être décidé de construire, ou non un hub ExpressPost (appelé "hub EP" par la suite) dans un NPA, quel qu'il soit, si ce sont les résultats de la simulation. Les flux de colis envoyés et distribués seront donc aggrégés suivant ces NPAs. De plus l'étude sera faite en considérant les données disponibles pour l'année 2005.

2.1 Structure de données

Les données manipulées sont de différents types : constantes, vecteurs et matrices. Les vecteurs seront systématiquement de taille m , où m est le nombre de NPAs. De même pour les matrices qui seront le plus souvent carrées et de taille m . Tout ceci sera développé dans le chapitre suivant, concernant les données.

2.2 Modèles

Dans cette section les modèles vont être présentés un par un, chacun dans sa spécificité. Les objectifs et les hypothèses sont rappelés au début de chaque section. Le point central de la modélisation réside dans le schéma de transport d'un colis, particulier à chacun des services.

2.2.1 Swiss Express Eclair

Les objectifs particuliers pour ce service sont les suivants :

- déterminer les emplacements optimaux des hubs EP ;
- déterminer le nombre optimal de hubs EP ;
- déterminer l'allocation des offices de poste aux hubs ;
- déterminer les allocations des NPAs destinataires aux hubs.

Le schéma de transport pour un colis Eclair est présenté à la figure 2.1.



FIG. 2.1 – Schéma de transport général d'un colis dans le cadre du service Eclair.

Les hubs sont de deux types : ExpressPost et PostColis. La plateforme, structure interne à ExpressPost, est considérée comme fixe et unique. C'est un lieu de transit pour les colis, sauf pour ceux intra-NPA qui sont directement traités par le hub dont le NPA dépend. ce choix stratégique est motivé par l'utilisation optimale des véhicules. En effet les transports sont ici effectués par la route, et cette option permet de limiter le nombre de trajets "à vide" (sans colis transporté). Concrètement un véhicule, peut après avoir acheminé des colis jusqu'à la plateforme, prendre en charge les colis destinés à sa région d'origine. De plus comme il a été mentionné dans la présentation des produits, la zone de couverture du service est divisée en deux : en fait il existe deux plateformes, respectivement responsables des zones est et ouest. Les flux de colis sont alloués à ces zones de manière fixe. Par exemple, il est pour l'instant impossible d'envoyer un colis de type Eclair de Lausanne à Zürich,

car Lausanne dépend de la plateforme ouest et Zürich de la plateforme est. Ce choix de fonctionnement s'explique par les délais de livraison. Les allocations des offices de poste et des NPAs destinataires sont uniques.

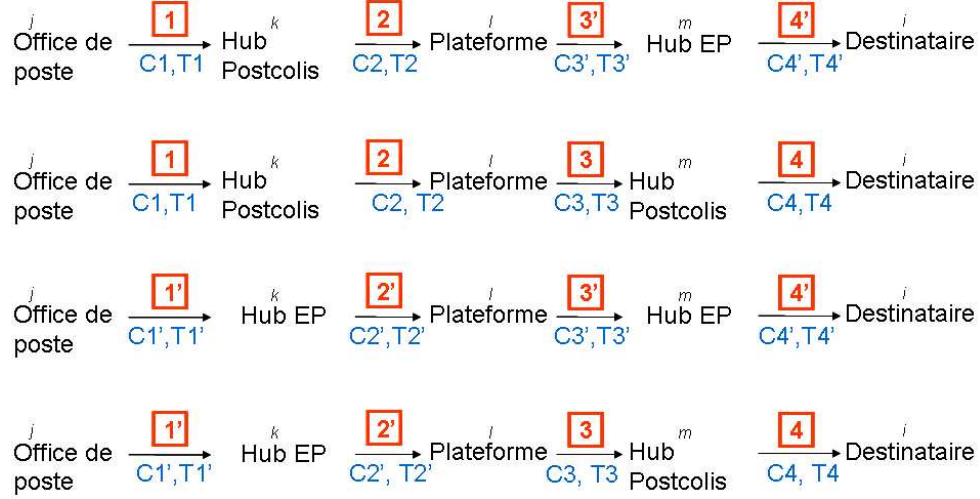


FIG. 2.2 – Différentes possibilités de transport d'un colis dans le cadre du service Eclair.

Concernant la matrice de flux, il est à noter que nous disposons pour l'année 2005, du nombre de colis déposés dans chaque office de poste, ainsi que du nombre de colis distribués dans les NPAs destinataires avec le hub responsable de chaque NPA. Ces données suffisent, en effet les flux complets des offices de poste aux NPAs desinataires sont inutiles, compte-tenu de l'existence de la plateforme qui scinde les trajets en deux portions distinctes.

Des données spécifiques au service Eclair sont nécessaires pour modéliser le problème :

Tout d'abord des paramètres de coût et de vitesse dépendant du type de trajet :

- C_{int1} : coût lié au trajet 1 impliquant un hub EP.
- C_{int2} : coût lié au trajet 2 impliquant un hub EP.
- C_{int3} : coût lié au trajet 3 impliquant un hub EP.
- C_{int4} : coût lié au trajet 4 impliquant un hub EP.
- C_{ext1} : coût lié au trajet 1 impliquant un hub PostColis.
- C_{ext2} : coût lié au trajet 2 impliquant un hub PostColis.

$Cext3$: coût lié au trajet 3 impliquant un hub PostColis.
 $Cext4$: coût lié au trajet 4 impliquant un hub PostColis.

$Vint1$: vitesse liée au trajet 1 impliquant un hub EP.
 $Vint2$: vitesse liée au trajet 2 impliquant un hub EP.
 $Vint3$: vitesse liée au trajet 3 impliquant un hub EP.
 $Vint4$: vitesse liée au trajet 4 impliquant un hub EP.
 $Vext1$: vitesse liée au trajet 1 impliquant un hub PostColis.
 $Vext2$: vitesse liée au trajet 2 impliquant un hub PostColis.
 $Vext3$: vitesse liée au trajet 3 impliquant un hub PostColis.
 $Vext4$: vitesse liée au trajet 4 impliquant un hub PostColis.

O : vecteur d'emplacements des offices de poste $O_j = 1$: Un office de poste se trouve dans le NPA j , 0 sinon. Ce vecteur indique où se trouvent les offices de poste concernés par le produit.

E : vecteur d'emplacements des hubs PostColis $E_k = 1$: Un hub PostColis se trouve dans le NPA k , 0 sinon. Ce vecteur indique l'emplacement des hubs PostColis.

Plateforme l : NPA de localisation de la plateforme, point central du transport.

$Tmax$: délai à ne pas dépasser pour la livraison des colis. Le temps de livraison est scindé en 2, car la considération du trajet global a pour conséquence d'augmenter de manière quadratique le nombre de variables, ce qui compromet la résolution par ordinateur.

Maintenant que le problème est posé, il est possible de définir des variables de décision. Celles-ci concernent l'emplacement des hubs ExpressPost, l'allocation des offices de poste aux différents hubs, ainsi que l'allocation des NPAs destinataires aux hubs, internes et externes. Il est à remarquer que toutes ces variables sont binaires, en effet un hub EP peut être ou non construit dans un NPA, et une allocation peut avoir lieu, ou non.

Y : vecteur d'emplacements des hubs EP. $Y_j = 1$: un hub EP est construit dans le NPA j , 0 sinon. Ce vecteur permettra de connaître le nombre et les emplacements optimaux des hubs EP.

$Zint$: matrice d'allocations des offices de poste aux hubs EP. $Zint_{jk} = 1$: L'office de poste j est alloué au hub EP se trouvant dans le NPA k , 0 sinon.

Cette matrice permettra de connaître l'allocation des offices de poste aux hubs EP.

$Zext$: matrice d'allocations des offices de poste aux hubs PostColis. $Zext_{jk} = 1$: L'office de poste j est alloué au hub PostColis se trouvant dans le NPA k , 0 sinon. Cette matrice permettra de connaître l'allocation des offices de poste aux hubs PostColis.

$Xint$: matrice d'allocation des NPAs destinataires aux hubs EP. $Xint_{im} = 1$: Le NPA i est alloué au hub EP se trouvant dans le NPA m , 0 sinon. Cette matrice permettra de connaître l'allocation des NPAs destinataires aux hubs EP.

$Xext$: matrice d'allocation des NPAs destinataires aux hubs PostColis. $Xext_{im} = 1$: Le NPA i est alloué au hub PostColis se trouvant dans le NPA m , 0 sinon. Cette matrice permettra de connaître l'allocation des NPAs destinataires aux hubs PostColis.

Le programme linéaire peut être maintenant formulé de la manière suivante : le but est de minimiser les coûts globaux sous différentes contraintes telles que les contraintes de délais de livraison, d'allocations uniques, et de structures.

Minimiser :

$$\sum_{j,k,m,i} [flot_{jl} \times (Cint1 \times dist_{jk} + Cint2 \times dist_{kl} + Fint) \times Zint_{jk} + flot_{jl} \times (Cext1 \times dist_{jk} + Cext2 \times dist_{kl} + Fext) \times Zext_{jk} + flot_{li} \times (Cint3 \times dist_{lm} + Cint4 \times dist_{mi} + Fint) \times Xint_{im} + flot_{li} \times (Cext3 \times dist_{lm} + Cext4 \times dist_{mi} + Fext) \times Xext_{im}] + \sum_k Invest \times Y_k$$

Sous contraintes :

Délais de livraison :

$$\begin{aligned} \left(\frac{1}{Vint1} \times dist_{jk} + \frac{1}{Vint2} \times dist_{kl} \right) \times Zint_{jk} &\leq Tmax1 \forall j, k \\ \left(\frac{1}{Vext1} \times dist_{jk} + \frac{1}{Vext2} \times dist_{kl} \right) \times Zext_{jk} &\leq Tmax1 \forall j, k \\ \left(\frac{1}{Vint3} \times dist_{lm} + \frac{1}{Vint4} \times dist_{mi} \right) \times Xint_{im} &\leq Tmax2 \forall i, m \\ \left(\frac{1}{Vext3} \times dist_{lm} + \frac{1}{Vext4} \times dist_{mi} \right) \times Xext_{im} &\leq Tmax2 \forall i, m \end{aligned}$$

Allocations uniques des offices de poste :

$$\sum_k (Zint_{jk} + Zext_{jk}) = 1 \forall j$$

Allocations uniques des NPAs destinataires :
 $\sum_m (X_{int_{im}} + X_{ext_{im}}) = 1 \forall i$

Allocations d'un office de poste à un hub que si l'office de poste existe :
 $Z_{int_{jk}} \leq O_j \forall j, k$
 $Z_{ext_{jk}} \leq O_j \forall j, k$

Allocations à un hub EP que si le hub EP existe :
 $Z_{int_{jk}} \leq Y_k \forall j, k$
 $X_{int_{im}} \leq Y_m \forall i, m$

Allocations à un PostColis que si le hub Postcolis existe :
 $Z_{ext_{jk}} \leq E_k \forall j, k$
 $X_{ext_{im}} \leq E_m \forall i, m$

Toutes les variables sont binaires :
 $Z_{int_{jk}}, Z_{ext_{jk}}, X_{int_{im}}, X_{ext_{im}}, Y_k \in [0, 1]$

2.2.2 Swiss Express Lune

- Les objectifs particuliers pour ce service sont les suivants :
- déterminer les emplacements optimaux des hubs EP ;
 - déterminer le nombre optimal de hubs EP ;
 - déterminer les allocations des NPAs destinataires aux hubs.

Le schéma de transport est présenté à la figure 2.3



FIG. 2.3 – Schéma de transport général d'un colis dans le cadre du service Lune.

Les hubs sont de trois types : ExpressPost, PostColis et offices de poste. Il est à remarquer que le nombre de hubs externes est très grand. Les centres

de tri, sont au nombre de trois, et l'allocation des NPAs destinataires à ces centres sont fixées. Ils jouent le rôle des plateformes du service Eclair, l'appellation est différente car ceux-ci ne sont pas des structures internes à Express-Post. Les allocations des NPAs destinataires aux hubs sont uniques. De plus le coût pour les trajets 1 et 2 (n'impliquent que des hubs PostColis) est fixé et forfaitaire, ceci signifie qu'il est indépendant de la distance séparant l'office de poste du centre de tri. En effet ces transports sont effectués en synergie avec d'autres, pris en charge par des filiales de la Poste.



FIG. 2.4 – Différentes possibilités de transport d'un colis dans le cadre du service Lune.

Concernant la matrice de flux, nous disposons du nombre de colis distribués dans chaque NPA destinataire, de plus l'allocation de ces NPAs aux centres de tri est connue, donc les flux de colis des centres de tri aux NPAs destinataires sont connus. La première partie du trajet de transport d'un colis est indépendante d'ExpressPost (trajet 1 et 2), par conséquent celle-ci ne sera pas prise en compte ici.

Des données spécifiques au service Lune sont nécessaires pour modéliser le problème :

Tout d'abord des paramètres de coût et de vitesse dépendant du type de trajet :

C_{int3} : coût lié au trajet 3 impliquant un hub EP.

C_{int4} : coût lié au trajet 4 impliquant un hub EP.

C_{ext3} : coût lié au trajet 3 impliquant un hub PostColis.

$Cext4$: coût lié au trajet 4 impliquant un hub PostColis.

$Vint3$: vitesse liée au trajet 3 impliquant un hub EP.

$Vint4$: vitesse liée au trajet 4 impliquant un hub EP.

$Vext3$: vitesse liée au trajet 3 impliquant un hub PostColis.

$Vext4$: vitesse liée au trajet 4 impliquant un hub PostColis.

E : vecteur d'emplacements des hubs PostColis $E_k = 1$: Un hub PostColis se trouve dans le NPA k , 0 sinon. Ce vecteur indique l'emplacement des hubs PostColis.

$centre_1$: NPA où se trouve le centre de tri numéro 1.

$centre_2$: NPA où se trouve le centre de tri numéro 2.

$centre_3$: NPA où se trouve le centre de tri numéro 3.

$Alloc$: matrice d'allocations des NPAs destinataires aux centres de tri (taille $3 \times m$). $Alloc_{il} = 1$: Le NPA i est alloué au centre de tri l ($l = 1, 2, 3$), 0 sinon. Cette matrice indique l'allocation des NPAs destinataires aux centres de tri.

$Tmax$: Délai à ne pas dépasser pour la livraison des colis.

Maintenant que le problème est posé, il est possible de définir des variables de décision. Celles-ci concernent l'emplacement des hubs ExpressPost, ainsi que l'allocation des NPAs destinataires aux hubs, internes et externes. Il est à noter que toutes ces variables sont binaires, en effet un hub EP peut être ou non construit dans un NPA, et une allocation peut avoir lieu, ou non.

Y : vecteur d'emplacements des hubs EP. $Y_j = 1$: un hub EP est construit dans le NPA j , 0 sinon. Ce vecteur permettra de connaître le nombre et les emplacements optimaux des hubs EP.

$Xint$: matrice d'allocations des NPAs destinataires aux hubs EP. $Xint_{im} = 1$: Le NPA i est alloué au hub EP se trouvant dans le NPA m , 0 sinon. Cette matrice permettra de connaître l'allocation des NPAs destinataires aux hubs EP.

$Xext$: matrice d'allocations des NPAs destinataires aux hubs PostColis. $Xext_{im} = 1$: Le NPA i est alloué au hub PostColis se trouvant dans le NPA m , 0 sinon. Cette matrice permettra de connaître l'allocation des NPAs destinataires aux hubs PostColis.

Le programme linéaire peut être maintenant formulé de la manière suivante : le but est de minimiser les coûts globaux sous différentes contraintes telles que les contraintes de délai de livraison, d'allocations uniques, et de structures.

Minimiser :

$$\sum_{j,k,m,i} [flot_{li} \times (Cint3 \times dist_{lm} + Cint4 \times dist_{mi} + Fint) \times Xint_{im} + flot_{li} \times (Cext3 \times dist_{lm} + Cext4 \times dist_{mi} + Fext) \times Xext_{im}] \times Alloc_{il} + \sum_k Invest \times Y_k$$

Sous contraintes :

Délais de livraison :

$$\left(\frac{1}{Vint3} \times dist_{lm} + \frac{1}{Vint4} \times dist_{mi} \right) \times Xint_{im} \leq Tmax \forall i, m$$

$$\left(\frac{1}{Vext3} \times dist_{lm} + \frac{1}{Vext4} \times dist_{mi} \right) \times Xext_{im} \leq Tmax \forall i, m$$

Allocations uniques des régions postales :

$$\sum_m (Xint_{im} + Xext_{im}) = 1 \forall i$$

Allocations à un hub EP que si le hub EP existe :

$$Xint_{im} \leq Y_m \forall i, m$$

Allocations à un PostColis que si le hub Postcolis existe :

$$Xext_{im} \leq E_m \forall i, m$$

Toutes les variables sont binaires :

$$Xint_{im}, Xext_{im}, Y_k \in [0, 1]$$

2.2.3 Swiss Express Soir

Les objectifs particuliers pour ce service sont les suivants :

- déterminer le nombre optimal de hubs EP ;
- déterminer les allocations des NPAs destinataires aux hubs.

Le schéma de transport est présenté à la figure ??

Ce service concerne essentiellement la vente par correspondance de produits de la "Migros", la clientèle des particuliers sera considérée comme négligeable ici. Les hubs sont de deux types ExpressPost ou PostColis. Les allocations des clients aux hubs sont fixées et les allocations des NPAs destinataires

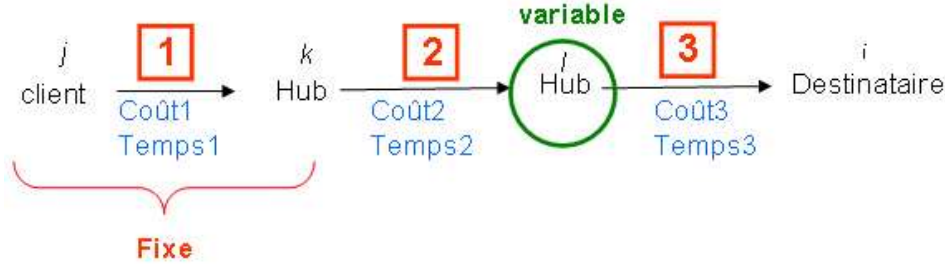


FIG. 2.5 – Schéma de transport général d'un colis dans le cadre du service Soir.

aux hubs sont variables (à déterminer) et uniques. De plus le transport 1 est pris en charge par un transporteur mandaté par le client, donc indépendant d'ExpressPost.

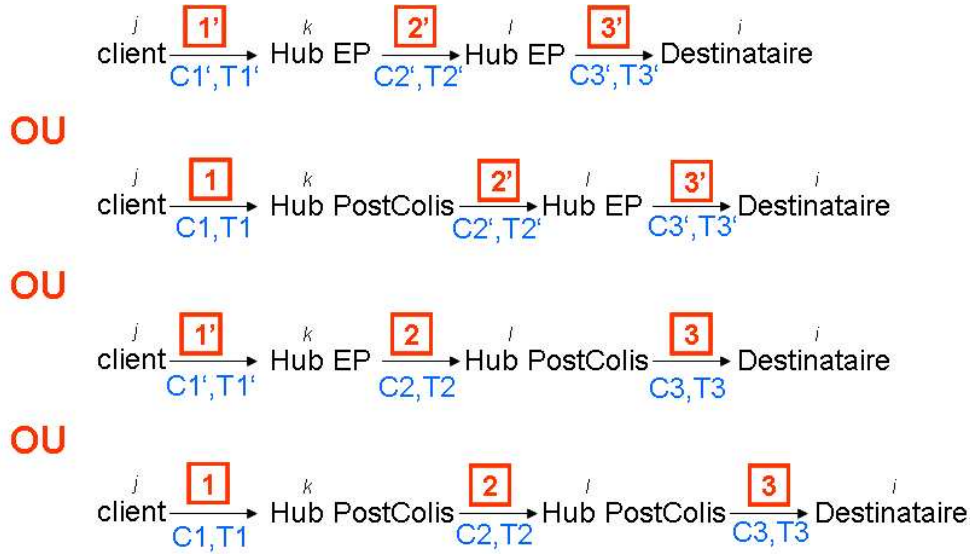


FIG. 2.6 – Différentes possibilités de transport d'un colis dans le cadre du service Soir.

ExpressPost ne peut interagir avec le transport 1, afin d'optimiser le réseau distribution sans pénaliser le client, l'allocation du client aux hubs d'envoi est considérée fixée. Par conséquent les flots nécessaires sont tronqués et ne concernant que la partie du hub d'envoi au NPA destinataire. Il est à

noter que ce modèle est le même que le précédent, en considérant les hubs de départ à la place des centres de tri, hubs auxquels les clients sont alloués.

Des données spécifiques au service Soir sont nécessaires pour modéliser le problème :

Tout d'abord des paramètres de coût et de vitesse dépendant du type de trajet :

C_{int2} : coût lié au trajet 2 impliquant un hub EP.

C_{int3} : coût lié au trajet 3 impliquant un hub EP.

C_{ext2} : coût lié au trajet 2 impliquant un hub PostColis.

C_{ext3} : coût lié au trajet 3 impliquant un hub PostColis.

V_{int2} : vitesse liée au trajet 2 impliquant un hub EP.

V_{int3} : vitesse liée au trajet 3 impliquant un hub EP.

V_{ext2} : vitesse liée au trajet 2 impliquant un hub PostColis.

V_{ext3} : vitesse liée au trajet 3 impliquant un hub PostColis.

E : vecteur d'emplacement des hubs PostColis $E_k = 1$: Un hub PostColis se trouve dans le NPA k , 0 sinon. Ce vecteur indique l'emplacement des hubs PostColis.

$Alloc$: matrice d'allocation des NPAs destinataires aux hubs de départ (taille $13 \times m$). $Alloc_{il} = 1$: Le NPA i est alloué au hub de départ l ($l = 1, 2, \dots, 13$), 0 sinon. Cette matrice indique l'allocation des NPAs destinataires aux centres de tri.

T_{max} : Délai à ne pas dépasser pour la livraison des colis.

Maintenant que le problème est posé, il est possible de définir des variables de décision. Celles-ci concernent l'emplacement des hubs ExpressPost, ainsi que l'allocation des régions postales destinataires aux hubs, internes et externes. Il est à remarquer que toutes ces variables sont binaires, en effet un hub EP peut être ou non construit dans un NPA, et une allocation peut avoir lieu, ou non.

Y : vecteur d'emplacement des hubs EP. $Y_j = 1$: un hub EP est construit dans le NPA j , 0 sinon. Ce vecteur permettra de connaître le nombre et les emplacements optimaux des hubs EP.

X_{int} : matrice d'allocation des NPAs destinataires aux hubs EP. $X_{int_{im}} = 1$: La NPA i est alloué au hub EP se trouvant dans le NPA m , 0 sinon. Cette matrice permettra de connaître l'allocation des NPAs destinataires aux hubs EP.

X_{ext} : matrice d'allocation des NPAs destinataires aux hubs PostColis. $X_{ext_{im}} = 1$: Le NPA i est alloué au hub PostColis se trouvant dans le NPA m , 0 sinon. Cette matrice permettra de connaître l'allocation des NPAs destinataires aux hubs PostColis.

Le programme linéaire peut être maintenant formulé de la manière suivante : le but est de minimiser les coûts globaux sous différentes contraintes telles que les contraintes de délais de livraison, d'allocations uniques, et de structures.

Minimiser :

$$\sum_{j,k,m,i} flot_{li} \times [(C_{int2} \times dist_{lm} + C_{int3} \times dist_{mi} + F_{int}) \times X_{int_{im}} + (C_{ext2} \times dist_{lm} + C_{ext3} \times dist_{mi} + F_{ext}) \times X_{ext_{im}}] \times Alloc_{il} + \sum_k Invest \times Y_k$$

Sous contraintes :

Délais de livraison :

$$\left(\frac{1}{V_{int2}} \times dist_{lm} + \frac{1}{V_{int3}} \times dist_{mi}\right) \times X_{int_{im}} \leq T_{max} \forall i, m$$

$$\left(\frac{1}{V_{ext2}} \times dist_{lm} + \frac{1}{V_{ext3}} \times dist_{mi}\right) \times X_{ext_{im}} \leq T_{max} \forall i, m$$

Allocations uniques des NPAs destinataires

$$\sum_m (X_{int_{im}} + X_{ext_{im}}) = 1 \forall i$$

Allocation à un hub EP que si le hub EP existe

$$X_{int_{im}} \leq Y_m \forall i, m$$

Allocation à un PostColis que si le hub Postcolis existe

$$X_{ext_{im}} \leq E_m \forall i, m$$

Toutes les variables sont binaires

$$X_{int_{im}}, X_{ext_{im}}, Y_k \in [0, 1]$$

2.2.4 Swiss Courrier Intercity

Les objectifs particuliers à ce service sont les suivants :

- déterminer le nombre optimal de hubs EP ;
- déterminer les emplacements optimaux des hubs EP ;
- déterminer l'allocation des NPAs aux hubs pour l'envoi et la distribution.

Le schéma de transport est présenté à la figure 2.7

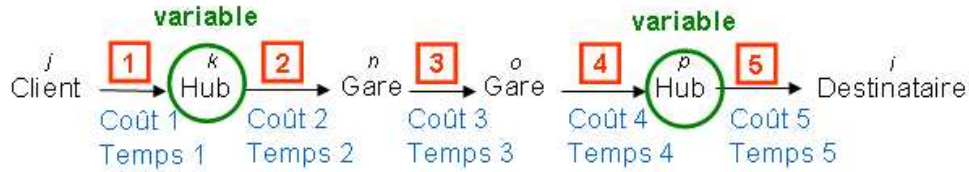


FIG. 2.7 – Schéma de transport global d'un colis dans le cadre du service Intercity.

Les hubs sont de deux types : ExpressPost ou PostMail. Les allocations des NPAs aux hubs sont variables, mais sont les mêmes pour l'envoi et la distribution de colis (symétrie). De plus celles-ci sont uniques. En ce qui concerne les allocations des hubs aux gares, elles sont fixées, en effet pour un NPA, il est facile de déterminer la gare principale la plus proche (un fichier d'allocations est disponible).

Dans le cas des services Swiss-Courrier, la traçabilité des colis est complète grâce au système "Transflow". Ce système permet au client de savoir en temps réel où se trouve son colis, de faire des estimations du temps d'acheminement jusqu'au destinataire, ainsi que du prix d'envoi. En effet les services Swiss-Courrier offrent des solutions clients plus spécifiques que les services Swiss-Express. Les flots de colis de NPA à NPA sont disponibles.

Des données spécifiques au service Intercity sont à préciser :

Tout d'abord des paramètres de coût et de vitesse dépendant du type de trajet :

Cint1 : coût lié au trajet 1 impliquant un hub EP.

Cint2 : coût lié au trajet 2 impliquant un hub EP.

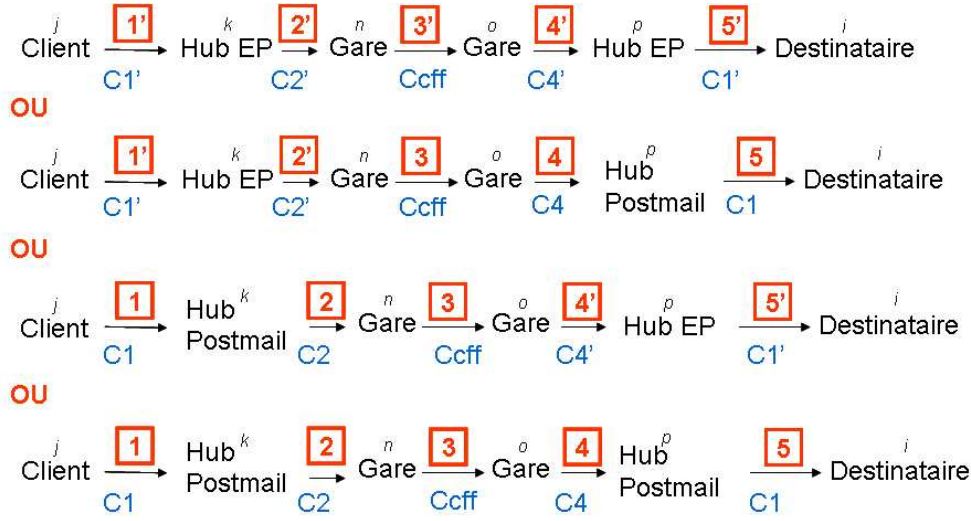


FIG. 2.8 – Différentes possibilités de transport d'un colis dans le cadre du service Intercity.

$Ccff$: coût lié au trajet en train, inter-hubs.

$Cint4$: coût lié au trajet 4 impliquant un hub EP.

$Cint5$: coût lié au trajet 5 impliquant un hub EP.

$Cext1$: coût lié au trajet 1 impliquant un hub PostColis.

$Cext2$: coût lié au trajet 2 impliquant un hub PostColis.

$Cext4$: coût lié au trajet 4 impliquant un hub PostColis.

$Cext5$: coût lié au trajet 5 impliquant un hub PostColis.

$Vint1$: vitesse liée au trajet 1 impliquant un hub EP.

$Vint2$: vitesse liée au trajet 2 impliquant un hub EP.

$Vcfc$: vitesse liée au trajet en train, inter-hubs.

$Vint4$: vitesse liée au trajet 4 impliquant un hub EP.

$Vint5$: vitesse liée au trajet 5 impliquant un hub EP.

$Vext1$: vitesse liée au trajet 1 impliquant un hub PostColis.

$Vext2$: vitesse liée au trajet 2 impliquant un hub PostColis.

$Vext4$: vitesse liée au trajet 4 impliquant un hub PostColis.

$Vext5$: vitesse liée au trajet 5 impliquant un hub PostColis.

E : vecteur d'emplacements des hubs PostMail. $E_k = 1$: Un hub PosMail se trouve dans le NPA k , 0 sinon. Ce vecteur indique l'emplacement des hubs PostMail.

T_{max} : Délai à ne pas dépasser pour la livraison des colis. Plusieurs hypothèses peuvent être faites sur ce temps maximal, soit indépendant du trajet considéré, soit dépendant. En effet dans le cas du service Intercity la livraison doit se faire au plus vite. Nous considérerons ici une valeur fixée.

$Alloc$: matrice d'allocations des NPAs aux gares des CFF (taille $m \times m$). $Alloc_{il} = 1$: La région postale i est allouée au centre de tri l ($l = 1, 2, 3$), 0 sinon. Cette matrice indique l'allocation des NPAs aux gares des CFF. En effet chaque NPA dépend d'une gare principale, considérée au plus proche. Ceci concerne les trajets 2 et 4.

Maintenant que le problème est posé, il est possible de définir des variables de décision. Celles-ci concernent l'emplacement des hubs ExpressPost, ainsi que l'allocation des NPAs aux hubs, internes et externes. Ici les mêmes variables d'allocation sont utilisées pour l'allocation client et l'allocation destinataire, ceci s'explique par la symétrie du modèle, en effet un NPA est alloué au même hub pour l'envoi et la distribution. Il est à remarquer que toutes les variables sont binaires, en effet un hub EP peut être ou non construit dans un NPA, et une allocation peut avoir lieu, ou non.

Y : vecteur d'emplacements des hubs EP. $Y_j = 1$: un hub EP est construit dans le NPA j , 0 sinon. Ce vecteur permettra de connaître le nombre et les emplacements optimaux des hubs EP.

X_{int} : matrice d'allocations des NPAs aux hubs EP pour l'envoi et la distribution. $X_{int_{im}} = 1$: Le NPA i est alloué au hub EP se trouvant dans le NPA m , 0 sinon. Cette matrice permettra de connaître l'allocation des NPAs destinataires aux hubs EP.

X_{ext} : matrice d'allocation des NPAs destinataires aux hubs PostMail pour l'envoi et la distribution. $X_{ext_{im}} = 1$: Le NPA i est alloué au hub PostMail se trouvant dans le NPA m , 0 sinon. Cette matrice permettra de connaître l'allocation des NPAs destinataires aux hubs PostMail.

Modèle quadratique

Le problème ne peut être mis immédiatement sous forme linéaire, mais sous forme quadratique, une formulation linéaire viendra dans la suite. Cette formulation pose problème car les méthodes de résolution sont beaucoup plus compliquées et inexactes. Cependant les objectifs restent les mêmes : le but

est de minimiser les coûts globaux sous différentes contraintes telles que les contraintes de délais de livraison, d'allocations uniques, et de structures.

Minimiser :

$$\sum_{j,k,n,o,p,i} [(flot_{ji} + flot_{ji}) \times [(Cint1 \times dist_{jk} + Cint2 \times dist_{kn} + Fint) \times Xint_{jk} + (Cext1 \times dist_{jk} + Cext2 \times dist_{kn} + Fext) \times Xext_{jk} + Ccff \times dist_{no} \times Xint_{jk} \times Xint_{ip} + Ccff \times dist_{no} \times Xint_{jk} \times Xext_{ip} + Ccff \times dist_{no} \times Xext_{jk} \times Xint_{ip} + Ccff \times Xext_{jk} \times Xext_{ip} + (Cint4 \times dist_{op} + Cint5 \times dist_{pi} + Fint) \times Xint_{ip} + (Cext4 \times dist_{op} + Cext5 \times dist_{pi} + Fext) \times Xext_{ip}] \times Alloc_{kn} \times Alloc_{po}] + \sum_k Invest \times Y_k$$

Sous contraintes :

Délais de livraison :

$$[[(\frac{1}{V_{int1}} \times dist_{jk} + \frac{1}{V_{int2}} \times dist_{kn}) \times Xint_{jk} + (\frac{1}{V_{ext1}} \times dist_{jk} + \frac{1}{V_{ext2}} \times dist_{kn}) \times Xext_{jk} + \frac{1}{V_{cff}} \times dist_{no} \times Xint_{jk} \times Xint_{ip} + \frac{1}{V_{cff}} \times dist_{no} \times Xint_{jk} \times Xext_{ip} + \frac{1}{V_{cff}} \times dist_{no} \times Xext_{jk} \times Xint_{ip} + \frac{1}{V_{cff}} \times Xext_{jk} \times Xext_{ip} + (\frac{1}{V_{int4}} \times dist_{op} + \frac{1}{V_{int5}} \times dist_{pi}) \times Xint_{ip} + (\frac{1}{V_{ext4}} \times dist_{op} + \frac{1}{V_{ext5}} \times dist_{pi}) \times Xext_{ip}] \times Alloc_{kn} \times Alloc_{po}] \leq T_{max} \forall j, k, n, o, p, i$$

Allocations uniques des NPAs :

$$\sum_m (Xint_{im} + Xext_{im}) = 1 \forall i$$

Allocations à un hub EP que si le hub EP existe :

$$Xint_{im} \leq Y_m \forall i, m$$

Allocations à un PostColis que si le hub Postcolis existe :

$$Xext_{im} \leq E_m \forall i, m$$

Toutes les variables sont binaires :

$$Xint_{im}, Xext_{im}, Y_k \in [0, 1]$$

Le terme quadratique est dû au trajet 3, en effet pour déterminer la distance gare à gare, il est nécessaire de connaître l'allocation du client au hub client, afin de faire le lien avec la gare o , de même pour le destinataire afin de connaître la gare p .

Modèle linéaire

Après cette première formulation il est possible de linéariser le problème en créant pour chacun des produits de variables, une variable. Par exemple :

$$Xint_{jk} \times Xint_{ip} = Xint - int_{jkpi}$$

Cette "super" variable est égale à 1 si le NPA j est alloué au hub EP k , et si le NPA i est alloué au hub EP se trouvant dans le NPA p . Autrement dit, cette variable prend en compte le trajet global du NPA j au NPA i . Le problème peut donc se formuler de manière linéaire de la façon suivante :

Minimiser :

$$\begin{aligned} & \sum_{j,k,n,o,p,i} (flot_{ji} + flot_{ji}) \times [(Cint1 \times dist_{jk} + Cint2 \times dist_{kn} + Fint) + \\ & Ccff \times dist_{no} + (Cint4 \times dist_{op} + Cint5 \times dist_{pi} + Fint)] \times Xint - int_{jkpi} + \\ & [(Cint1 \times dist_{jk} + Cint2 \times dist_{kn} + Fint) + Ccff \times dist_{no} + (Cext4 \times dist_{op} + \\ & Cext5 \times dist_{pi} + Fext)] \times Xint - ext_{jkpi} + [(Cext1 \times dist_{jk} + Cext2 \times dist_{kn} + \\ & Fext) + Ccff \times dist_{no} + (Cint4 \times dist_{op} + Cint5 \times dist_{pi} + Fint)] \times Xext - \\ & int_{jkpi} + [(Cext1 \times dist_{jk} + Cext2 \times dist_{kn} + Fext) + Ccff \times dist_{no} + (Cext4 \times \\ & dist_{op} + Cext5 \times dist_{pi} + Fint)] \times Xext - ext_{jkpi}] \times Alloc_{kn} \times Alloc_{po} + \\ & \sum_k Invest \times Y_k \end{aligned}$$

Sous contraintes :

Délais de livraison :

$$\begin{aligned} & [(\frac{1}{Vint1} \times dist_{jk} + \frac{1}{Vint2} \times dist_{kn}) + \frac{1}{Vcff} \times dist_{no} + (\frac{1}{Vint4} \times dist_{op} + \frac{1}{Vint5} \times \\ & dist_{pi})] \times Xint_{ip} + (Cext4 \times dist_{op} + Cext5 \times dist_{pi}) \times X - int - int_{jkpi} + [(\frac{1}{Vint1} \times \\ & dist_{jk} + \frac{1}{Vint2} \times dist_{kn}) + \frac{1}{Vcff} \times dist_{no} + (\frac{1}{Vext4} \times dist_{op} + \frac{1}{Vext5} \times dist_{pi})] \times Xint - \\ & ext_{jkpi} + [(\frac{1}{Vext1} \times dist_{jk} + \frac{1}{Vext2} \times dist_{kn}) + \frac{1}{Vcff} \times dist_{no} + (\frac{1}{Vint4} \times dist_{op} + \\ & \frac{1}{Vint5} \times dist_{pi})] \times Xext - int_{jkpi} + [(\frac{1}{Vext1} \times dist_{jk} + \frac{1}{Vext2} \times dist_{kn}) + \frac{1}{Vcff} \times \\ & dist_{no} + (\frac{1}{Vext4} \times dist_{op} + \frac{1}{Vext5} \times dist_{pi})] \times Alloc_{kn} \times Alloc_{po} \times Xext - ext_{jkpi} \leq \\ & Tmax \forall j, k, n, o, p, i \end{aligned}$$

Allocations uniques des NPAs :

$$\sum_{k,p} (Xint - int_{jkpi} + Xint - ext_{jkpi} + Xext - int_{jkpi} + Xext - ext_{jkpi}) = 1 \forall j, i$$

Allocations à un hub EP que si le hub EP existe :

$$Xint - int_{jkpi} \leq Y_k \forall j, k, p, i$$

$$\begin{aligned}
X_{int} - int_{jkpi} &\leq Y_p \forall j, k, p, i \\
X_{int} - ext_{jkpi} &\leq Y_k \forall j, k, p, i \\
X_{ext} - int_{jkpi} &\leq Y_p \forall j, k, p, i
\end{aligned}$$

Allocations à un PostColis que si le hub Postcolis existe :

$$\begin{aligned}
X_{ext} - ext_{jkpi} &\leq E_k \forall j, k, p, i \\
X_{ext} - ext_{jkpi} &\leq E_p \forall j, k, p, i \\
X_{ext} - int_{jkpi} &\leq E_k \forall j, k, p, i \\
X_{int} - ext_{jkpi} &\leq E_p \forall j, k, p, i
\end{aligned}$$

Toutes les variables sont binaires :

$$X_{int} - int_{jkpi}, X_{int} - ext_{jkpi}, X_{ext} - int_{jkpi}, X_{ext} - ext_{jkpi}, Y_k \in [0, 1] \forall j, k, p, i$$

Cette formulation, bien qu'ayant l'avantage d'être linéaire pose le problème de la taille du problème. En effet le nombre des variables d'allocation est de l'ordre de m^4 , avec m le nombre de NPA, ceci sachant que $m \simeq 4700$. Ce problème dépasse donc très largement les capacités de résolution d'un ordinateur.

Heuristique

Afin de s'adapter aux capacités machines et d'obtenir des résultats, une autre formulation du modèle peut être faite avec résolution en deux temps. En effet comme cela a été évoqué précédemment la source des soucis provient du trajet "3", caractérisé à la fois pas l'allocation du NPA "client" et celle du NPA "destinataire". L'idée est de séparer le modèle suivant les deux extrémités du trajet. Nous considérons donc deux modèles différents, suivant les "clients" et suivant les "destinataires". Remarquons que l'ensemble des NPAs "clients" est égal à l'ensemble des NPAs "destinataires". Partant d'une allocation "destinataire" fixée, nous résolvons sur les "clients", obtenons une première "allocation client", résolvons sur les "destinataires", obtenons une deuxième "allocation destinataire", et ainsi de suite jusqu'à convergence de la fonction objectif entre deux itérations successives. Une différence minimale doit être choisie. Ensuite les allocations clients et destinataires sont comparées et les points de désaccord seront examinés ultérieurement.

Résolution client Le but est de minimiser les coûts globaux sous les contraintes habituelles, les variables de décision sont des variables d'allocation client, et de localisation des hubs EP. Voici simplement un petit rappel :

X_{int} : matrice d'allocation des régions postales aux hubs EP pour l'envoi. $X_{int_{im}} = 1$: La région postale i est allouée au hub EP se trouvant dans le NPA m , 0 sinon. Cette matrice permettra de connaître l'allocation des NPAs aux hubs EP.

X_{ext} : matrice d'allocation des régions postales aux hubs PostMail pour l'envoi. $X_{ext_{im}} = 1$: La région postale i est allouée au hub PostMail se trouvant dans le NPA m , 0 sinon. Cette matrice permettra de connaître l'allocation des NPAs aux hubs PostMail.

De plus ici comme la résolution est effectuée sur les clients, l'allocation des destinataires aux hubs "destinataires" est fixée :

$Alloc_dest_int$: matrice d'allocation des destinataires aux hubs EP. $Alloc_dest_int_{ip} = 1$: si le NPA "destinataire" i est alloué au hub EP se trouvant dans le NPA p . Cette matrice indique l'allocation des destinataires aux hubs EP

$Alloc_dest_ext$: matrice d'allocation des destinataires aux hubs EP. $Alloc_dest_ext_{ip} = 1$: si le NPA "destinataire" i est alloué au hub PostColis se trouvant dans le NPA p . Cette matrice indique l'allocation des destinataires aux hubs PostMail.

Remarquons que l'allocation est unique pour la distribution. Par conséquent nous avons la relation suivante :
 $\sum_p [Alloc_dest_int_{ip} + Alloc_dest_ext_{ip}] = 1 \forall i$

Il est nécessaire de connaître pour chaque NPA "client" l'ensemble des NPAs "destinataires" qui lui sont propres, c'est à dire ses destinataires, avec le nombre de colis envoyés. Appellons $nb_destinataire_j$, leur nombre pour le NPA "client" j . Nous pouvons alors définir :

$Dest_j$: matrice des destinataires relatifs au NPA "client" j
 $Dest_j_i$: ligne de la matrice correspondant au destinataire i du client j
 $Dest_j_{i1}$: NPA du destinataire i
 $Dest_j_{i2}$: nombre de colis envoyés au destinataire i

Le programme linéaire est le suivant :

Minimiser :

$$\sum_{j,i} [(\sum_t^{nb_destinataire_j} Dest_j_{t2}) \times [(C_{int1} \times dist_{jk} + C_{int2} \times dist_{kn}) \times X_{int_{jk}} +$$

$$(Cext1 \times dist_{jk} + Cext2 \times dist_{kn}) \times Xext_{jk}] + \sum_t^{nb_destinataire_j} Dest_jt2[(Ccff \times dist_{no} + Cint4 \times dist_{op} + Cint5 \times dist_{pi}) \times Alloc_dest_int_{ip} + (Ccff \times dist_{no} + Cext4 \times dist_{op} + Cext5 \times dist_{pi}) \times Alloc_dest_ext_{ip}] + \sum_k Invest \times Y_k$$

Sous contraintes :

Délais de livraison :

$$(\frac{1}{V_{int1}} \times dist_{jk} + \frac{1}{V_{int2}} \times dist_{kn}) \times Xint_{jk} + (\frac{1}{V_{ext1}} \times dist_{jk} + \frac{1}{V_{ext2}} \times dist_{kn}) \times Xext_{jk}] + [(\frac{1}{V_{eff}} \times dist_{no} + \frac{1}{V_{int4}} \times dist_{op} + \frac{1}{V_{int5}} \times dist_{pi}) \times Alloc_dest_int_{ip} + (\frac{1}{V_{cff}} \times dist_{no} + \frac{1}{V_{ext4}} \times dist_{op} + \frac{1}{V_{ext5}} \times dist_{pi}) \times Alloc_dest_ext_{ip}] \leq Tmax \forall j, k, n.o, p, i$$

Allocations uniques des NPAs clients :

$$\sum_k (Xint_{jk} + Xext_{jk}) = 1 \forall j$$

Allocations à un hub EP que si le hub EP existe :

$$Xint_{jk} \leq Y_k \forall j, k$$

Allocations à un PostColis que si le hub PostMail existe :

$$Xext_{jk} \leq E_k \forall j, k$$

Toutes les variables sont binaires :

$$Xint_{jk}, Xext_{jk}, Y_k \in [0, 1]$$

Résolution destinataire La résolution sur les "destinataires" est parfaitement symétrique de la résolution précédente. Les variables de décision sont les mêmes, sauf qu'elles concernent les NPAs "destinataires". Ici c'est donc l'allocation des NPAs "clients" aux hubs qui est fixée. Symétriquement, nous définissons les matrices suivantes :

Alloc_client_int : matrice d'allocation des clients aux hubs EP. *Alloc_client_int_{ip}* = 1 : si le NPA "client" i est alloué au hub EP se trouvant dans le NPA p. Cette matrice indique l'allocation des clients aux hubs EP

Alloc_client_ext : matrice d'allocation des clients aux hubs EP. *Alloc_client_ext_{ip}* = 1 : si le NPA "client" i est alloué au hub PostColis se trouvant dans le NPA p. Cette matrice indique l'allocation des clients aux hubs PostMail.

Remarquons que l'allocation est unique pour l'envoi. Par conséquent nous avons la relation suivante :

$$\sum_k [Alloc_client_int_{jk} + Alloc_client_ext_{jk}] = 1 \forall j$$

Il est nécessaire de connaître pour chaque NPA "destinataire" l'ensemble des NPAs "client" qui lui sont propres, c'est à dire ses clients, avec le nombre de colis distribués. Appellons nb_client_i , leur nombre pour le NPA "desitnataire" i . Nous pouvons alors définir :

$Client_i$: matrice des destinataires relatifs au NPA "client" j
 $Client_i_j$: ligne de la matrice correspondant au client j du destinataire i
 $Client_i_{j1}$: NPA du destinataire i
 $Client_i_{j2}$: nombre de colis envoyés par le client j

le programme linéaire est le suivant :

Minimiser :

$$\sum_{ij} [\sum_t^{nb_client_i} client_i_{t2} [(Cint1 \times dist_{jk} + Cint2 \times dist_{kn} + Ccfff \times dist_{no}) \times Alloc_client_i_{nt_{jk}} + (Cext1 \times dist_{jk} + Cext2 \times dist_{kn} + Ccfff \times dist_{no}) \times Alloc_client_ext_{jk}] + (\sum_t^{nb_client_i} Client_i_{t2}) \times [(Cint4 \times dist_{op} + Cint5 \times dist_{pi}) \times Xint_{ip} + (Cext4 \times dist_{op} + Cext5 \times dist_{pi}) \times Xext_{ip}]] + \sum_k Invest \times Y_k$$

Sous contraintes :

Délais de livraison :

$$[(\frac{1}{Vint1} \times dist_{jk} + \frac{1}{Vint2} \times dist_{kn} + \frac{1}{Vcfff} \times dist_{no}) \times Alloc_client_i_{nt_{jk}} + (\frac{1}{Vext1} \times dist_{jk} + \frac{1}{Vext2} \times dist_{kn} + \frac{1}{Vcfff} \times dist_{no}) \times Alloc_client_ext_{jk}] + [(\frac{1}{Vint4} \times dist_{op} + \frac{1}{Vint5} \times dist_{pi}) \times Xint_{ip} + (\frac{1}{Vext4} \times dist_{op} + \frac{1}{Vext5} \times dist_{pi}) \times Xext_{ip}] \leq Tmax \forall j, k, n.o, p, i$$

Allocations uniques des NPAs :

$$\sum_p (Xint_{pi} + Xext_{pi}) = 1 \forall i$$

Allocations à un hub EP que si le hub EP existe :

$$Xint_{ip} \leq Y_p \forall i, p$$

Allocations à un PostColis que si le hub PostMail existe :

$$Xext_{ip} \leq E_p \forall i, p$$

Toutes les variables sont binaires :

$$Xint_{ip}, Xext_{ip}, Y_p \in [0, 1]$$

La première itération concernera les clients. Par conséquent il faudra établir une allocation initiale des NPAs destinataires aux hubs destinataires. Nous proposons de construire un hub EP dans chaque NPA destinataire, dans la mesure où celui-ci ne contient pas de hub externe. Ensuite il suffit d'auto-allouer les NPAs, au hub s'y trouvant. En terme de coûts, ce choix est loin d'être optimal, mais constitue simplement un bon point de départ au processus. Dans la pratique nous utiliserons cette méthode pour la résolution du programme linéaire concernant le modèle Intercity.

2.2.5 Swiss Courrier City

Les objectifs particuliers pour ce service sont les suivants :

- déterminer le nombre optimal de hubs ExpressPost ;
- déterminer les emplacements optimaux des hubs ExpressPost ;
- déterminer l'allocation des NPAs aux hubs pour l'envoi et la distribution ;

Le schéma de transport est présenté à la figure 2.9

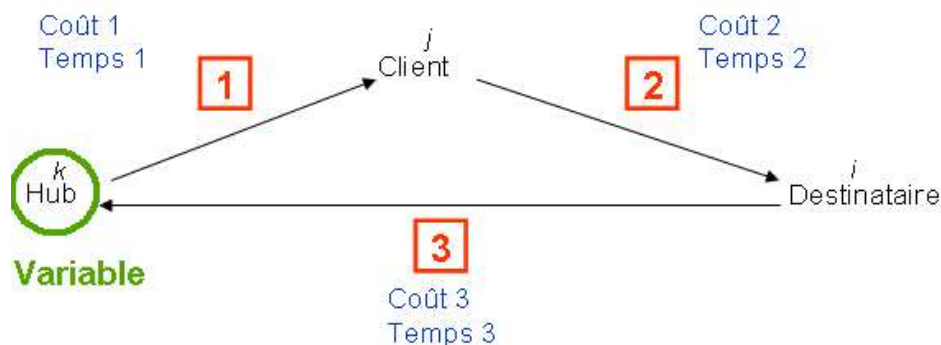


FIG. 2.9 – Schéma de transport général d'un colis dans le cadre du service City.

Les hubs sont de deux types : ExpressPost ou PostMail. Ici ce sont les flots qui sont considérés et non les NPAs, en effet le schéma de transport général d'un colis de type City correspond à la "tournée" effectuée par un véhicule. L'important est de savoir à quel hub ce véhicule appartient, c'est pour cela que nous raisonnons en terme d'allocation de flots.

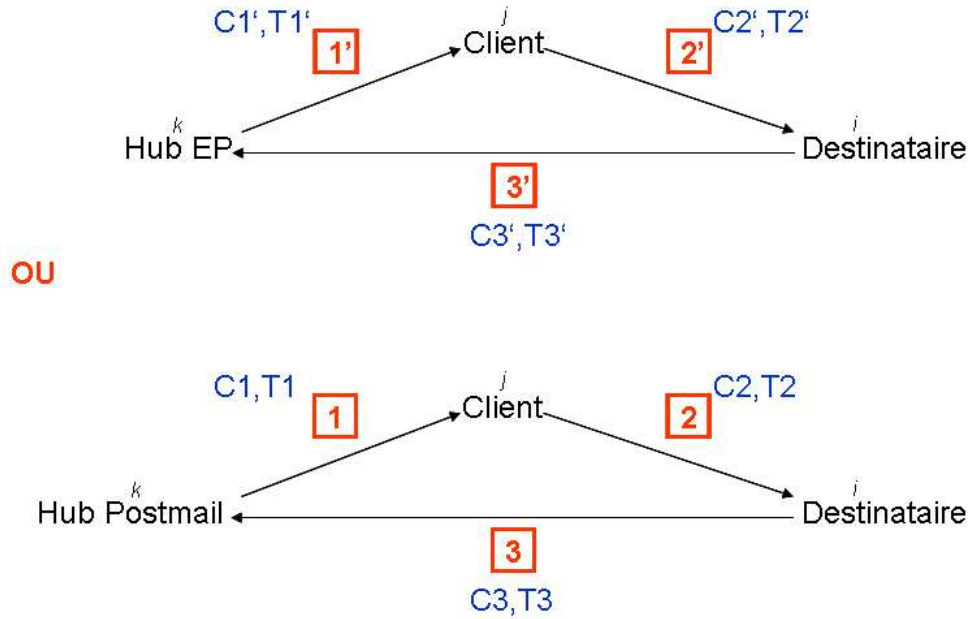


FIG. 2.10 – Différentes possibilités de transport d'un colis dans le cadre du service City.

Dans le cas des services Swiss-Courrier, la tracabilité des colis est complète grâce au système "Transflow". Ce système permet au client de savoir en temps réel où se trouve son colis, de faire des estimations du temps d'acheminement jusqu'au destinataire, ainsi que du prix d'envoi. Les flots de colis de NPA à NPA sont disponibles. Ce produit est similaire du point de vue du service "pour le client" au service Intercity. La différence réside dans l'éloignement du destinataire. D'un point de vue interne ce n'est pas le cas car le schéma de transport est beaucoup plus simple (simple boucle effectuée par un véhicule).

Des données spécifiques au service City sont nécessaires pour modéliser le problème.

Tout d'abord des paramètres de coût et de vitesse dépendant du type de trajet :

C_{int} : coût lié au trajet 1 impliquant un hub EP.

C_{ext} : coût lié au trajet 1 impliquant un hub PostColis.

V_{int} : vitesse liée au trajet 1 impliquant un hub EP.

V_{ext} : vitesse liée au trajet 1 impliquant un hub PostMail.

E : vecteur d'emplacements des hubs PostMail. $E_k = 1$: Un hub PosMail se trouve dans le NPA k , 0 sinon. Ce vecteur indique l'emplacement des hubs PostMail.

$Tmax$: Délai à ne pas dépasser pour la livraison des colis.

Maintenant que le problème est posé, il est possible de définir des variables de décision. Celles-ci concernent l'emplacement des hubs ExpressPost, ainsi que l'allocation des flots de colis aux hubs, internes et externes. Il est à remarquer que toutes ces variables sont binaires, en effet un hub EP peut être ou non construit dans un NPA, et une allocation peut avoir lieu, ou non.

Y : vecteur d'emplacements des hubs EP. $Y_j = 1$: un hub EP est construit dans le NPA j , 0 sinon. Ce vecteur permettra de connaître le nombre et les emplacements optimaux des hubs EP.

$Xint$: matrice d'allocations des flots de colis aux hubs EP. $Xint_{ikj} = 1$: Les flots de colis allant du NPA j au NPA i , et inversement, sont traités par un hub EP se trouvant dans le NPA k , 0 sinon. Cette matrice permettra de connaître l'allocation des flots aux hubs EP.

$Xext$: matrice d'allocations des flots de colis aux hubs EP. $Xext_{ikj} = 1$: Les flots de colis allant du NPA j au NPA i , et inversement, sont traités pas un hub PostMail se trouvant dans le NPA k , 0 sinon. Cette matrice permettra de connaître l'allocation des flots aux hubs Postmail.

Le programme linéaire peut être maintenant formulé de la manière suivante : le but est de minimiser les coûts globaux sous les différentes contraintes habituelles.

Minimiser :

$$\sum_{j,k,m,i} (flot_{ji} + flot_{ij}) \times [Cint \times (dist_{kj} + dist_{ji} + dist_{ik}) + Fint] \times Xint_{ikj} + (flot_{ji} + flot_{ij}) \times [Cext \times (dist_{kj} + dist_{ji} + dist_{ik}) + Fext] \times Xext_{ikj} + \sum_k Invest \times Y_k$$

Sous contraintes :

Délais de livraison :

$$[Cint \times (dist_{kj} + dist_{ji} + dist_{ik}) + Fint] \times Xint_{ikj} + [Cext \times (dist_{kj} + dist_{ji} +$$

$$dist_{ik}) + Fext] \times Xext_{ikj} \leq Tmax \forall i, j, k$$

Allocations uniques des régions postales :

$$\sum_k (Xint_{ikj} + Xext_{ikj}) = 1 \forall i, j$$

Allocations à un hub EP que si le hub EP existe :

$$Xint_{ikj} \leq Y_k \forall i, j$$

Allocations à un PostColis que si le hub PostMail existe :

$$Xext_{ikj} \leq E_k \forall i, j$$

Toutes les variables sont binaires :

$$Xint_{ikj}, Xext_{ikj}, Y_k \in [0, 1]$$

3 Données

Après avoir décrit les modèles théoriques, il est nécessaire avant et durant leur implémentation de traiter les données, c'est à dire construire des fichiers exploitables par un programme, en agréger, ou bien encore simplifier certaines grandeurs. En effet nous sommes dans le cadre de modèles combinatoires, la taille, c'est à dire le nombre de variables, le nombre de contraintes et la longueur de la fonction objectif deviennent vite très grands, et donc les modèles sont au final difficilement résolubles par ordinateur. Les données peuvent être scindées en deux grandes familles, les matrices, et les paramètres. Les matrices sont des tableaux de taille importante requierant une attention particulière quant à leur mise en forme. Les paramètres sont "aisés" à entrer dans le programme, par contre leur influence est prépondérante d'où la nécessité de bien les connaître, ou les calculer. L'ensemble des transformations de fichiers ont été faites en utilisant **Python**.

3.1 Matrice de distances

La matrice des distances est utilisée dans chacun des modèles, c'est une donnée capitale. Elle contient les distances inter-NPAs, distances qui sont répertoriées par PostLogistics lorsqu'une structure interne est présente dans le secteur, (par exemple un office de poste). Ce fichier a été donné sous format Excel, et est de taille 250 Mo. Tout d'abord celui-ci est mis au format texte (.txt) Chaque ligne se présente sous la forme suivante :

NPA1_6chiffres.....NPA2_6chiffres.....distance_1_2

NPA1_6chiffres et *NPA2_6chiffres* sont décrits par six chiffres, *distance_1_2* est exprimée en mètres . Ce fichier contient donc l'ensemble des valeurs nécessaires à la constitution de la matrice de distances utilisée dans les modèles décrits précédemment. Afin de pouvoir exploiter cette matrice dans la suite, plusieurs transformations doivent être faites. Tout d'abord le passage aux NPAs à quatre chiffres. Pour ce faire la démarche a été la suivante :

1. diviser tous les deux premiers éléments des lignes par 100 et prendre la partie entière, afin de passer de *NPA_6chiffres* à *NPA_4chiffres* ;
2. considérer maintenant chaque ligne de la forme :
NPA1_4chiffres.....NPA2_4chiffres.....distance_1_2 ;
3. chercher les lignes ayant pour 2 premiers éléments : "*NPA1_4chiffres.....NPA2_4chiffres*" ou "*NPA2_4chiffres.....NPA1_4chiffres*"
4. faire la moyenne des distances *distance_moyenne_1_2* ;
5. écrire dans le fichier **distance_4chiffres.txt**
NPA1_4chiffres.....NPA2_4chiffres.....distance_moyenne_1_2.

La taille du fichier diminue de manière significative, **distance_4chiffres.txt** pèse 75Mo.

3.2 Matrice de flux

Les matrices de flux sont construites à partir de fichiers internes à ExpressPost, contenant d'autres données telles que la responsabilité actuelle des NPAs. Les fichiers ont été donnés sous format Excel. Comme pour la matrice de distances, ceux-ci sont tout d'abord transformés en fichier texte (.txt). Chaque ligne, après avoir été épurée se présente de la façon suivante :

NPA1_6chiffres.....NPA2_6chiffres.....nombre_colis_1_2

NPA1_6chiffres correspond au NPA d'envoi, et *NPA2_6chiffres* correspond au NPA de distribution, et *nombre_colis_1_2* le nombre de colis envoyés de *NPA1_6chiffres* à *NPA2_6chiffres*. La démarche d'agrégation des NPAs sur quatre chiffres est la même que pour les distances, sauf que logiquement le nombre de colis est additionné pour des lignes équivalentes, et non moyenné. Le fichier de sortie s'appelle **flux_4chiffres.txt**.

Dans le cadre particulier des services Swiss-Express, deux types de fichier de flux ont été donnés, les uns concernant les cases postales, c'est à dire des clients réguliers sous contrat pour des périodes fixées ; les autres concernant une clientèle journalière, quelque peu aléatoire. Bien que différents, ces deux types de flux concernant un même service ont été additionnés. La démarche a été la suivante :

1. considérer chaque ligne du fichier concernant les clients "journaliers" ;

2. parcourir les lignes du fichier concernant les "cases postales", comparer chaque ligne à la ligne du fichier concernant les clients "journaliers", si les deux premiers éléments sont les mêmes, dans le même ordre, alors additionner les nombres de colis ;
3. écrire le flux agrégé dans le fichier **flux_4chiffres_additionnés.txt**
4. écrire les flux non traités du fichier concernant les "cases postales" dans le même fichier **flux_4chiffres_additionnés.txt**.

3.3 Matrice d'allocation

Les matrices d'allocations sont manipulées au sein des modèles dans des contextes différents :

- modèle Lune pour l'allocation des NPAs aux centres de tri ;
- modèle Soir pour l'allocation des clients aux hubs initiaux ;
- modèle Intercity pour l'allocation des NPAs aux gares principales des Cff, mais également plus particulièrement pour la méthode heuristique avec les allocations des destinataires aux hubs lors de la résolution sur les clients, et inversement les allocations des clients aux hubs lors de la résolution sur les destinataires.

Les fichiers d'allocation se présentent toujours de la même manière. Chaque ligne se présente de la façon suivante :

NPA1_4chiffres.....NPA_allocation

NPA1_4chiffres est le NPA qui nous intéresse, et *NPA_allocation* le NPA où se trouve la structure à laquelle le NPA concerné est alloué, cette structure peut être donc une gare, un hub EP, un hub PostMail. Dans le cas de l'allocation à une gare le fichier est donné par EP, subit les traitements préalables évoqués précédemment, c'est à dire récupération des données qui nous intéressent, agrégation sur le nombre de chiffres voulus. La plupart du temps des NPAs ayant les quatre premiers chiffres communs sont alloués à la même gare. Dans le cas contraire toutes les gares sont examinées, et c'est celle se trouvant à la distance la plus courte du NPA concerné à quatre chiffres qui est choisie. En ce qui concerne l'allocation des NPAs aux hubs (modèle Intercity), le fichier est généré à partir du fichier solution retourné par Cplex, après optimisation. Dans tous les modèles présentés précédemment les variables sont binaires (0 ou 1), donc dans les résultats, les seules qui nous intéressent sont celles égales à 1. Chaque ligne du fichier solution se présente

de la façon suivante :

nom_variable.....valeur_variable

nom_variable représente la variable (son numéro) qui est considérée. Il est nécessaire de décoder ce numéro, ce qui permettra de savoir s'il s'agit d'une variable de localisation, d'allocation, auquel cas quel est le hub concerné, son type (interne ou externe) et le NPA considéré. Ce décodage se fera uniquement si *valeur_variable* = 1. Une fois cela effectué, et s'il s'agit d'une variable d'allocation, il est nécessaire de noter dans le fichier **Allocation_destinataire.txt**, (si on résout sur les clients), le NPA du destinataire concerné, ainsi que le NPA du hub auquel il est alloué.

3.4 Paramètres

Les paramètres sont des valeurs en un nombre relativement limité qui interviennent de manière prépondérante dans le modèle : ce sont les coûts (de tout type), intervenant dans la fonction objectif, ainsi que les vitesses de transport intervenant dans les contraintes de délais maximaux de livraison. Ces données ont soit été calculées, soit déterminées par un responsable EP.

3.4.1 Les coûts

Ceux-ci sont de différentes sortes :

- *les coûts de transport* : ils sont liés au type de transport utilisé, et trajet emprunté (par exemple le coût de transport en voiture est plus élevé en ville que hors agglomération pour des raisons de conditions de circulation). On les définit par kilomètre et par envoi. En effet de manière générale les services proposés par ExpressPost sont assez personnalisés, surtout les services Swiss Express Courrier. Ces coûts ont été calculés et validés par un responsable EP. Le calcul s'est effectué de la manière suivante à partir des matrices de flux, de distances, ainsi que des coûts totaux de transport pour ExpressPost :

1. chercher les flux de colis traités par EP, ceci est possible à partir des fichiers de départ contenant les responsabilités actuelles des NPAs (le responsable pouvant être soit un hub interne, soit un hub externe) ;

2. pour chaque ligne du fichier de flux **flux_3chiffres.txt** dont le responsable est EP, chercher dans **distance_3chiffres.txt** les distances séparant les différentes étapes du transport "type" d'un colis suivant le schéma général propre au service ;
 3. additionner ces distances multipliées par le flux de colis correspondant : ce qui est en fait au calcul de la distance parcourue par l'ensemble des véhicules pour un service donné sur la période considérée ;
 4. diviser la valeur précédente par le nombre de colis supposés transportés durant une course, par exemple cinq, (chiffre estimé au mieux par un responsable d'EP) ;
 5. calculer le coût par kilomètre et par envoi en divisant le coût total de transport par la valeur calculée précédemment.
- *les coûts fixes de traitement des colis* : ces coûts sont à distinguer suivant la nature du hub considéré, interne ou externe. Le coût de fonctionnement d'un hub dépend de sa taille, c'est à dire de la superficie(location du terrain), du personnel y travaillant (salaires), et du nombre de véhicules alloués. En ce qui concerne les hubs EP ces données de fonctionnement sont connues. De plus le nombre de colis traités par ces structures sont disponibles. Il est donc aisé de calculer le coût de traitement d'un colis en divisant le coût total par service par le nombre de colis traités.
 - *les coûts d'investissement* : ils correspondent au coût de construction d'un nouveau hub EP, celui-ci est déterminé directement par le service financier d'EP.

3.4.2 Les vitesses de transport

Elles sont spécifiques à chaque type de trajet (ville ou hors-agglomération pour la voiture), dépendent également de la nature des transports (train ou voiture).

- *la voiture* : la vitesse en ville est supposée être 40km/h, et la vitesse hors agglomération être 80km/h, donc la vitesse moyenne est de 60km/h. C'est la moyenne qui est prise en compte car considérant un trajet il est difficile de distinguer les différents types de portions. Même dans le cas du service City, il est difficile de savoir si des portions d'autoroute sont empruntés ou non, en effet dans les grandes villes comme Genève,

il est parfois préférable d'emprunter des routes périphériques par rapport au centre ville pour se rendre à un point éloigné ;

- *le train* : les trajets utilisés fréquemment sont disponibles, donc les horaires également. Grâce à la matrice de distances, le nombre de kilomètres entre départ et arrivée sont également disponibles. Par conséquent il est facile de calculer une vitesse moyenne à partir de plusieurs trajets. Elle sera considérée égale à 100km/h

3.5 Passage aux NPAs à trois chiffres

Comme nous l'avons dit en début de ce chapitre les problèmes sont combinatoires et le nombre de données importants. En considérant des NPAs à quatre chiffres, nous utilisons dans tous les modèles de l'ordre de m^2 variables, où m est le nombre de NPAs, ceci sachant que $m \simeq 4700$, donc que le nombre de variables est égal à 2209000. Compte-tenu de la prise en compte des délais de livraison, le nombre de contraintes est au moins aussi grand. Pour pouvoir résoudre par ordinateur un problème complet, il est nécessaire de réduire la taille de manière uniforme et logique. C'est pour cela que nous avons décidé d'agréger les données sur trois chiffres, quitte à revenir en arrière et désagréger par la suite. La démarche d'agrégation pour passer de quatre à trois chiffres est la même que celle décrite au paragraphe *Matrice des distances*.

4 Implementation des modeles

L'implémentation des différents modèles décrits au chapitre 4 s'est faite en utilisant le solveur de programme linéaire Cplex au sein d'une interface java permettant de charger dans la fonction objectif et les contraintes, les données recueillies dans les différents fichiers cités auparavant. Dans ce chapitre nous allons décrire plus précisément les modèles informatisés ainsi que leurs tailles respectives. De manière pratique chaque modèle se présente sous forme d'un dossier contenant à la fois les données et l'ensemble des programmes nécessaires à son fonctionnement. Un fichier **ligne_commande.txt** contient toutes les "commandes" à exécuter dans le terminal pour lancer une simulation (compilation et exécution). Le plus pratique est de copier le contenu de ce fichier et de le coller dans le terminal.

4.1 Méthode générale

Les modèles utilisent les données décrites dans le chapitre 5. Les matrices requièrent une attention particulière quant à leur forme et à leur stockage, afin de permettre une utilisation facile et la récupération rapide d'éléments. Ceci est d'autant plus vrai que l'utilisation de la matrice est fréquente. Pour chacun des fichiers les contenant nous définissons des classes de lecture particulières avec des méthodes spécifiques. Ce choix bien que peu standard compte-tenu de la ressemblance entre fichiers, décrite au chapitre 5, a pour avantage de traiter spécifiquement chacune des matrices données et de clarifier les choses.

Différentes structures de données (java) relatives aux matrices reviennent constamment, pour des raisons de manipulation aisée et de bonne adaptation au contexte :

- *ArrayList* : Tableau très polyvalent, peut contenir n'importe quel type d'objet, utilisé ici pour stocker des matrices basiques ;

- *Double []* ou *Double [][]* : Tableau de Double, donc de nombres décimaux stockés avec une grande précision, utilisés par exemple pour la fonction objectif;
- *Hashtable* : Table de Hashage, tableau dans le quel chaque élément est repéré par une clé. Il est possible de récupérer un élément en connaissant cette clé. L’avantage de cette structure, bien que volumineuse, est la rapidité de manipulation.

La description faite ici de la structure des programmes est assez générale, correspond à un "modèle type" sans prendre en compte les caractéristiques particulières de chacun.

4.1.1 Les flots

La classe de lecture est appelée **Lecture_demande**. Les méthodes sont les suivantes :

- *public ArrayList Lecture_flux()* : lecture du fichier des flots et mise sous forme d’un tableau de type "ArrayList";
- *public double[][] traduire_flux(ArrayList flux)* : traduction d’un tableau de type ArrayList en tableau de nombres mis sous forme de "double";
- *public double renvoi_flux(double a, double b, ArrayList flux)* : renvoi d’un flux de colis en considérant la région postale de départ mise sous forme de double (double a), la région postale d’arrivée également mise sous forme de double (double b), et le fichier contenant les flux mis sous forme d’ArrayList.

4.1.2 les hubs externes

La classe de lecture est appelée **Lecture_hub_externe**. Les méthodes sont les suivantes :

- *public ArrayList lectureh()* : lecture du fichier contenant l’ensemble des hubs externes pouvant être utilisés dans le cadre d’un service et mis sous forme d’un tableau de type ArrayList;

- *public double[] traduire_hubPP(ArrayList emp_PP)* : traduction de l'ensemble des hubs externes mise sous forme d'un tableau de type ArrayList à un tableau de nombres mis sous forme de double ;
- *public double renvoi_hubPP(double a, ArrayList emp_PP)* : renvoi d'un nombre de type double pouvant avoir la valeur soit 1, soit 0, permettant de savoir si un hub externe est présent dans une région postale (double a) et ceci connaissant le fichier contenant les données mises sous forme d'une ArrayList.

4.1.3 les distances

La classe de lecture est appelée **Lecture_distance**. La matrice de distance est celle qui occupe le plus de place. La prise en compte de l'ensemble des trajets possibles dans le programme linéaire oblige à utiliser une structure de données particulière permettant d'obtenir un élément facilement et surtout rapidement, cet élément étant la distance séparant deux régions postales. Ici nous avons décidé d'utiliser une table de hashage (Hashtable décrite précédemment). Les méthodes sont les suivantes.

- *public ArrayList lectured()* : lecture de la matrice distances et mise sous forme d'un tableau de type ArrayList ;
- *public static Hashtable lecture_traduction_Hash()* : lecture du fichier contenant la matrice de distance et mise sous forme d'une table de Hashage (Hashtable), dont les clés sont définies de la manière suivante, "NPA1 NPA2" , si l'on considère une région postale de départ (NPA1) et une région postale d'arrivée (NPA2). La valeur associée est bien évidemment la distance séparant ces deux NPAs ;
- *public double renvoi_distance_Hash(double a, double b, Hashtable distance_Hash)* : renvoi de la distance séparant deux NPAs (double a) et (double b) , connaissant la table de hashage correspondant au fichier contenant la matrice de distances.

4.2 Architecture du programme

Les "classes de lecture" décrites précédemment sont appelées dans une "classe principale" ayant pour nom générique **PL_java_nom_modèle.java**. Son execution correspond à la construction du programme linéaire, c'est à dire de la fonction objectif et des contraintes (suivant les modèles décrits au chapitre 4), ainsi qu'à sa résolution sous Cplex. Les méthodes de cette classe sont les suivantes :

- *void PL_java_nom_modèle.java()* : la "classe principale" contient comme attributs, différents objets des "classes de lecture " décrites précédemment, suivant besoin dans le modèle. Bien sûr l'ensemble des attributs de la classe peuvent être appelés par une méthode propre à celle-ci sans avoir besoin de les déclarer comme arguments de la méthode. Cette fonction est en fait un constructeur permettant d'initialiser un objet de la "classe principale";
- *double[] fonction_objectif(Hashtable distance)* : méthode de construction de la fonction objectif, la table de Hashage concernant les distances est considérée en tant qu'argument. En effet lors de l'execution, une seule table de Hashage de ce type est créée et utilisée si besoin par d'autres méthodes. Ceci a l'avantage de la stocker qu'une seule fois dans la mémoire vive de l'ordinateur, et donc permettre une execution plus rapide. N'oublions pas que la matrice distances est l'élément le plus lourd à manipuler. La méthode renvoie un vecteur de nombres (sous forme de double) correspondant aux coefficients des variables de décisions dans la fonction objectif;
- *static void populateByRow(IloMPSModeler model, IloIntVar[][] var, IloRange[][] rng, double[] objectif_global)* : méthode permettant de mettre en forme le programme linéaire, mais également adjoignant les contraintes au modèle. Les arguments de cette méthode sont d'une part la fonction objectif, et d'autre part des objets utilisés par Cplex, et décrits dans la "Callable Library" :
 1. *IloMPSModeler* : objet contenant l'ensemble du programme linéaire, c'est à dire la fonction objectif à maximiser ou minimiser, les contraintes et les variables;
 2. *IloIntVar[][]* : tableau de variables de type entier correspondant aux variables du problème;

3. *IloRange*[][] : tableau de contraintes, et remplis à l'intérieur de la méthode décrite dans ce paragraphe.

Il est à noter que nous utilisons une méthode de construction de la matrice de contraintes par ligne. C'est à dire qu'en fait chacune des contraintes est considérée séparément. Une autre possibilité aurait été de résonner en colonne, c'est à dire considérer une à une les variables et introduire le bon coefficient dans chaque ligne (contrainte). Le choix du résonnement en ligne provient de la construction même des modèles, décrite au chapitre 4, les contraintes de temps par exemple correspondent chacune à un trajet particulier.

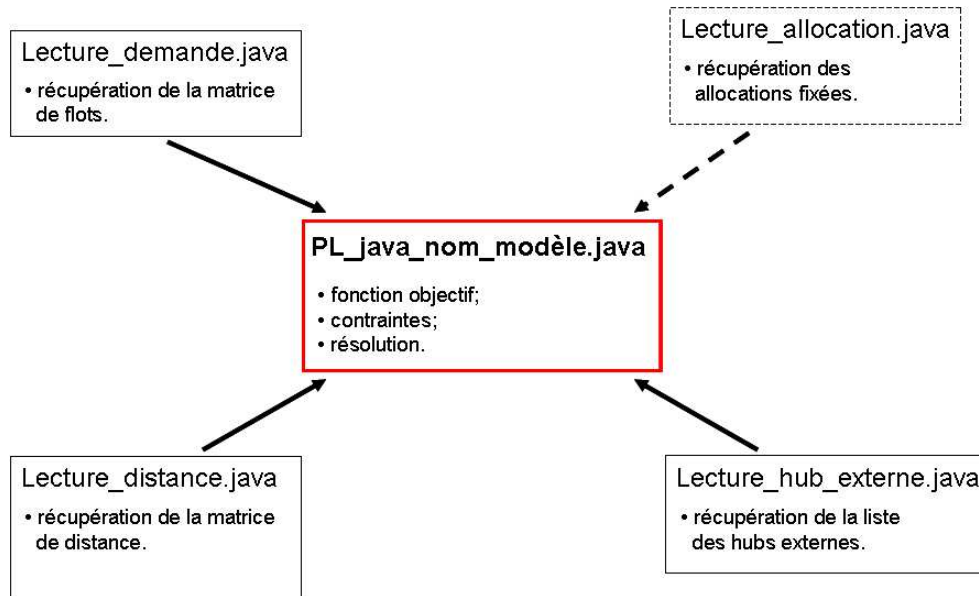


FIG. 4.1 – Architecture globale du programme générique correspondant à l'implémentation d'un modèle.

4.2.1 Taille des modèles

Dans cette section nous allons décrire la taille des différents modèles, c'est à dire le nombre de variables de décisions, ainsi que le nombre de contraintes.

Swiss Express Eclair

La taille du problème est déterminée par le nombre de variables, ainsi que par le nombre de contraintes. Plusieurs paramètres sont à définir pour calculer cette taille.

- $l1$: nombre d'offices de poste ;
- $l2$: nombre de NPAs destinataires ;
- $nombre_NPA$: nombre de NPAs où l'implémentation d'un hub Express-Post est possible ;
- h : nombre de hubs PostColis, hubs externes.

Le nombre total de variables est égal à $l1 \times nombre_NPA + l2 \times nombre_NPA + l1 \times h + l2 \times h + nombre_NPA$. Le détail est le suivant :

- $l1 \times nombre_NPA$: nombre de variables relatives à l'allocation des offices de poste aux hubs ExpressPost ;
- $l2 \times nombre_NPA$: nombre de variables relatives à l'allocation des NPAs destinataires aux hubs ExpressPost ;
- $l1 \times h$: nombre de variables relatives à l'allocation des offices de poste aux hubs PostColis ;
- $l2 \times h$: nombre de variables relatives à l'allocation des NPAs destinataires aux hubs PostColis ;
- $nombre_NPA$: nombre de variables concernant la localisation des hubs ExpressPost.

Le nombre total de contraintes est égal à $l1 \times nombre_NPA + l2 \times nombre_NPA + l1 \times h + l2 \times h + l1 + l2 + l1 \times nombre_NPA + l2 \times nombre_NPA$. Celles-ci se scindent en plusieurs types distincts, que sont les contraintes de temps de livraison, les contraintes d'allocation uniques des offices de poste et des régions postales, ainsi que des allocations possibles aux hubs ExpressPost que si les hubs ExpressPost existent. Le détail est le suivant :

- $l1 \times nombre_NPA$: nombre de contraintes de temps relatives aux tra-

- jets "office de poste - plateforme" passant par un hub ExpressPost ;
- $l2 \times \text{nombre_NPA}$: nombre de contraintes de temps relatives aux trajets "plateforme - NPA" passant par un hub ExpressPost ;
- $l1 \times h$: nombre de contraintes de temps relatives aux trajets "office de poste - plateforme" passant par un hub PostColis ;
- $l2 \times h$: nombre de contraintes de temps relatives aux trajets "plateforme - NPA" passant par un hub PostColis ;
- $l1$: nombre de contraintes d'allocation unique d'un office de poste à un hub, qu'il soit ExpressPost ou PostColis ;
- $l2$: nombre de contraintes d'allocation unique d'un NPA à un hub, qu'il soit ExpressPost ou PostColis ;
- $l1 \times \text{nombre_NPA}$: nombre de contraintes concernant l'allocation d'un office de poste à un hub ExpressPost que si le hub existe ;
- $l2 \times \text{nombre_NPA}$: nombre de contraintes concernant l'allocation d'un NPA à un hub ExpressPost que si le hub existe.

Swiss Express Lune

Définissons tous les paramètres nécessaires à la détermination de la taille du modèle :

- l : nombre de NPAs destinataires ;
- nombre_NPA : nombre de NPAs où l'implémentation d'un hub ExpressPost est possible ;
- h : nombre de hubs PostColis, hubs externes.

Le nombre total de variables est égal à $l \times \text{nombre_NPA} + l \times h + \text{nombre_NPA}$

- $l \times \text{nombre_NPA}$: nombre de variables relatives à l'allocation des NPAs aux hubs ExpressPost ;

- $l \times h$: nombre de variables relatives à l'allocation des NPAs aux hubs PostColis ;
- $nombre_NPA$: nombre de variables concernant la localisation des hubs ExpressPost.

Le nombre total de contraintes est égal à $l \times nombre_NPA + l \times h + l + l \times nombre_NPA$. Celles-ci se scindent en plusieurs types distincts, que sont les contraintes de temps de livraison, les contraintes d'allocation uniques des NPAs destinataires, ainsi que des allocations possibles aux hubs ExpressPost que si les hubs ExpressPost existent. Le détail est le suivant :

- $l \times nombre_NPA$: nombre de contraintes de temps relatives aux trajets "centre de tri - NPA" passant par un hub ExpressPost ;
- $l \times h$: nombre de contraintes de temps relatives aux trajets "centre de tri - NPA" passant par un hub PostColis ;
- l : nombre de contraintes d'allocation unique d'un NPA à un hub, qu'il soit ExpressPost ou PostColis ;
- $l \times nombre_NPA$: nombre de contraintes concernant l'allocation d'un NPA à un hub ExpressPost que si le hub existe.

Swiss Express Soir

Définissons tous les paramètres nécessaires à la détermination de la taille du modèle :

- l : nombre de NPAs destinataires ;
- $nombre_NPA$: nombre de NPAs où l'implémentation d'un hub ExpressPost est possible ;
- h : nombre de hubs PostColis, hubs externes.
- $nombre_hub_init$: nombre de hubs auxquels les clients sont alloués pour le dépôt des colis suite au trajet 1.

Le nombre total de variables est égal à $l \times \text{nombre_NPA} + l \times h + \text{nombre_NPA}$. Le détail est le suivant :

- $l \times \text{nombre_NPA}$: nombre de variables relatives à l'allocation des NPAs destinataires aux hubs ExpressPost ;
- $l \times h$: nombre de variables relatives à l'allocation des NPAs destinataires aux hubs PostColis ;
- nombre_NPA : nombre de variables concernant la localisation des hubs ExpressPost.

Le nombre total de contraintes est égal à : $l \times \text{nombre_NPA} + l \times h + l + l \times \text{nombre_NPA}$. Celles-ci se scindent en plusieurs types distincts, que sont les contraintes de délais de livraison, les contraintes d'allocation uniques des NPAs destinataires, ainsi que des allocations possibles aux hubs ExpressPost que si les hubs ExpressPost existent. Le détail est le suivant :

- $l \times \text{nombre_NPA}$: nombre de contraintes de temps relatives aux trajets "hub initial - NPA" passant par un hub ExpressPost ;
- $l \times h$: nombre de contraintes de temps relatives aux trajets "hub initial - NPA" passant par un hub PostColis ;
- l : nombre de contraintes d'allocation unique d'un NPA à un hub, qu'il soit ExpressPost ou PostColis ;
- $l \times \text{nombre_NPA}$: nombre de contraintes concernant l'allocation d'un NPA à un hub ExpressPost que si le hub existe.

Swiss Courrier Intercity

Le modèle choisi pour l'implémentation est le modèle "Heuristique". Définissons tous les paramètres nécessaires à la détermination de la taille du modèle concernant la résolution sur les **clients** :

- $l1$: nombre de NPAs clients ;
- nombre_NPA : nombre de NPAs où l'implémentation d'un hub ExpressPost est possible ;

- h : nombre de hubs PostMail, hubs externes.

Le nombre total de variables est égal à $l1 \times \text{nombre_NPA} + l1 \times h + \text{nombre_NPA}$. Le détail est le suivant :

- $l1 \times \text{nombre_NPA}$: nombre de variables relatives à l'allocation des NPAs clients aux hubs ExpressPost ;
- $l1 \times h$: nombre de variables relatives à l'allocation des NPAs clients aux hubs PostMail ;
- nombre_NPA : nombre de variables concernant la localisation des hubs ExpressPost.

Le nombre total de contraintes est égal à $l1 \times \text{nombre_NPA} + l1 \times h + l1 + l1 \times \text{nombre_NPA}$. Celles-ci se scindent en plusieurs types distincts, que sont les contraintes de temps de livraison, les contraintes d'allocation uniques des NPAs clients, ainsi que des allocations possibles aux hubs ExpressPost que si les hubs ExpressPost existent. Le détail est le suivant :

- $l1 \times \text{nombre_NPA}$: nombre de contraintes de temps relatives aux trajets complets lorsque le client est alloué à un hub ExpressPost ;
- $l1 \times h$: nombre de contraintes de temps relatives aux trajets complets lorsque le client est alloué à un hub PostColis ;
- $l1$: nombre de contraintes d'allocations uniques d'un NPA client à un hub, qu'il soit ExpressPost ou PostColis ;
- $l1 \times \text{nombre_NPA}$: nombre de contraintes concernant l'allocation d'un NPA client à un hub ExpressPost que si le hub existe.

Définissons tous les paramètres nécessaires à la détermination de la taille du modèle concernant la résolution sur les **destinataires**. Il est à noter que le modèle est le **symétrique** du modèle précédent :

- $l2$: nombre de NPAs destinataires ;
- nombre_NPA : nombre de NPAs où l'implémentation d'un hub ExpressPost est possible ;

- h : nombre de hubs PostMail, hubs externes.

Le nombre total de variables est égal à $l2 \times nombre_NPA + l2 \times h + nombre_NPA$. Le détail est le suivant :

- $l2 \times nombre_NPA$: nombre de variables relatives à l'allocation des NPAs destinataires aux hubs ExpressPost ;
- $l2 \times h$: nombre de variables relatives à l'allocation des NPAs destinataires aux hubs PostMail ;
- $nombre_NPA$: nombre de variables concernant la localisation des hubs ExpressPost.

Le nombre total de contraintes est égal à $l2 \times nombre_NPA + l2 \times h + l2 + l2 \times nombre_NPA$. Celles-ci se scindent en plusieurs types distincts, que sont les contraintes de temps de livraison, les contraintes d'allocations uniques des NPAs destinataires, ainsi que des allocations possibles aux hubs ExpressPost que si les hubs ExpressPost existent. Le détail est le suivant :

- $l2 \times nombre_NPA$: nombre de contraintes de temps relatives aux trajets complets lorsque le destinataire est alloué à un hub ExpressPost ;
- $l2 \times h$: nombre de contraintes de temps relatives aux trajets complets lorsque le destinataire est alloué à un hub PostColis ;
- $l2$: nombre de contraintes d'allocations uniques d'un NPA client à un hub, qu'il soit ExpressPost ou PostColis ;
- $l2 \times nombre_NPA$: nombre de contraintes concernant l'allocation d'un NPA destinataire à un hub ExpressPost que si le hub existe.

Swiss Courrier City

Définissons tous les paramètres nécessaires à la détermination de la taille du modèle :

- l : nombre de flux ;

- $nombre_NPA$: nombre de NPAs où l'implémentation d'un hub ExpressPost est possible ;
- h : nombre de hubs PostMail, hubs externes.

Le nombre total de variables est égal à $l \times nombre_NPA + l \times h + nombre_NPA$. Le détail est le suivant :

- $l \times nombre_NPA$: nombre de variables relatives à l'allocation des flux aux hubs ExpressPost ;
- $l \times h$: nombre de variables relatives à l'allocation des flux aux hubs PostMail ;
- $nombre_NPA$: nombre de variables concernant la localisation des hubs ExpressPost.

Le nombre total de contraintes est égal à $l \times nombre_NPA + l \times h + l + l \times nombre_NPA$. Celles-ci se scindent en plusieurs types distincts, que sont les contraintes de temps de livraison, les contraintes d'allocation uniques des régions postales, ainsi que des allocations possibles aux hubs ExpressPost que si les hubs ExpressPost existent. Le détail est le suivant :

- $l \times nombre_NPA$: nombre de contraintes de temps relatives aux trajets "complets" passant par un hub ExpressPost ;
- $l \times h$: nombre de contraintes de temps relatives aux trajets "complets" passant par un hub PostMail ;
- l : nombre de contraintes d'allocations uniques d'un NPA à un hub, qu'il soit ExpressPost ou PostMail ;
- $l \times nombre_NPA$: nombre de contraintes concernant l'allocation d'un flux à un hub ExpressPost que si le hub existe.

4.2.2 Fichier solution

Une fois la solution atteinte, les valeurs des variables sont inscrites dans un fichier **solution.mst**. A l'aide d'un script python les variables non nulles sont récupérées et leurs numéros décodés afin de savoir à quels NPAs celles-ci

se rapportent, s'il s'agit d'une variable de localisation, ou bien d'allocation, et auquel cas savoir si celles-ci concernent des hubs internes ou bien des hubs externes, et dans quels NPAs ceux-ci se situent. Voici le détail de la démarche expliquée sur l'exemple du service City décrit au paragraphe précédent.

1. récupérer le numéro des variables égales à 1 ;
2. reconnaître dans quelle tranche de "variables" celle-ci se situe, pour son numéro *num_var* est considéré :
 - $num_var < l \times nombre_NPA$: la variable correspond à une allocation de flux à un hub EP, en divisant *num_var* par *nombre_NPA*, nous obtenons *f* le flux auquel l'allocation se rapporte. $num_var - (f \times nombre_NPA)$ correspond au NPA du hub EP auquel *f* est alloué ;
 - $l \times nombre_NPA < num_var < l \times nombre_NPA + l \times h$: la variable correspond à une allocation de flux à un hub PostMail, en divisant *num_var* par *h*, nous obtenons *f* le flux auquel l'allocation se rapporte. $num_var - (f \times h + l \times nombre_NPA)$ correspond au NPA du hub PostMail auquel *f* est alloué.
 - $l \times nombre_NPA + l \times h < num_var$: la variable correspond à la localisation d'un hub EP. Le NPA de construction est égal à $num_var - (l \times nombre_NPA + l \times h)$.
3. si la variable concerne une allocation, écrire dans un fichier toutes les informations : NPA concerné, structure à laquelle la variable se rapporte, NPA de la structure.

5 Resultats

Les résultats ont été obtenus à partir des modèles développés précédemment. Les fichiers "solution" une fois traités et transformés en fichiers excel, sont utilisés pour représenter les allocations et les localisations optimales sur des cartes prévues à cet effet.

5.1 Résultats préliminaires sur des données artificielles de petite taille

Dans cette section nous allons présenter les résultats obtenus pour des données artificielles, dont les résultats sont faciles à appréhender. Ceci a pour but à la fois de valider la théorie des modèles, ainsi que la partie programmation. La "carte factice" des NPAs est présentée à la figure 5.1. Ce choix de configuration est motivé par le caractère simple des résultats attendus. Plusieurs simplifications ont été faites :

1. aucun hub externe pris en compte ;
2. les contraintes de délais de livraison ne rentrent pas en jeu ;
3. tous les flots ont une valeur de 10 colis ;
4. Le coût de transport par kilomètre et par colis égal à 1 CHF ;
5. le coût de traitement d'un colis par un hub EP est égal à 2 CHF ;
6. Le coût d'investissement pour la construction d'un hub EP égal à 100 CHF.

5.1.1 Swiss Express Eclair

Des offices de poste sont placés dans les cinq premiers NPAs, et des NPAs destinataires dans les cinq derniers ; Des colis vont de chaque office de poste vers chaque NPA destinataire. La figure 5.2 présente les résultats obtenus. Ceux-ci sont logiques, en effet deux hubs EP sont placés, respectivement à la médiane des offices de poste, et à la médiane des NPAs destinataires.

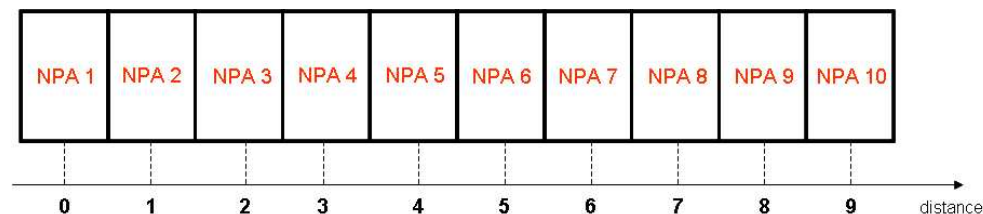


FIG. 5.1 – Configuration géographique des NPAs concernant les données artificielles.

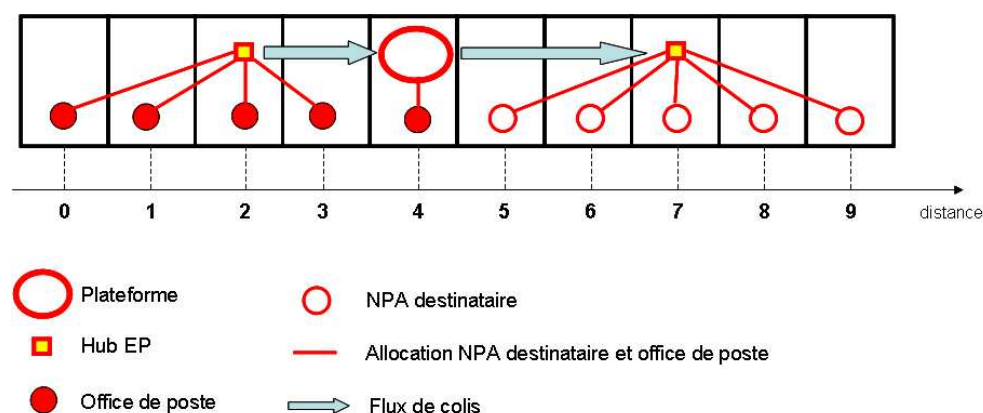


FIG. 5.2 – Résultats pour le modèle Eclair, avec des données artificielles.

5.1.2 Swiss Express Lune et Soir

Ces deux modèles ont été regroupés compte-tenu de leur similarité. Ici c'est plutôt le service Lune qui est pris en compte avec comme point de départ un centre de tri. Pour passer dans la configuration "Soir", il suffit de considérer ce centre de tri comme hub initiale où **Leshop** dépose les colis à livrer. Le centre de tri est placé dans le NPA 3, seuls les NPAs 6, 7, 8, 9, 10 sont pris en compte comme NPAs destinataires, ceux-ci sont alloués à l'unique centre de tri. La figure 5.3 présente la configuration particulière et les résultats. Ils sont logiques, en effet un hub EP est placé à la médiane des NPAs destinataires.

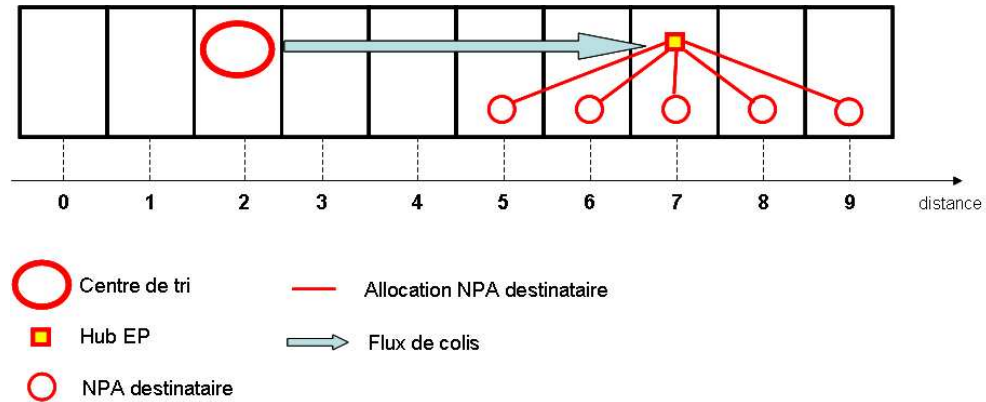


FIG. 5.3 – Résultats pour les modèles Lune et Soir, avec des données artificielles.

5.1.3 Swiss Courrier Intercity

Ici pour des raisons de lisibilité les NPAs "clients" sont séparés des NPAs "destinataires"; des flux de colis sont considérés depuis chaque "client" vers chaque destinataire. Le trajet en train, trajet central coûte 0.5 CHF par envoi, indépendant du kilométrage, donc très inférieur au coût routier. Les phases de la résolution sont détaillées. La figure 5.4 présente la situation de départ avec les différents flots. La figure 5.5 concerne l'initialisation de l'heuristique, avec l'allocation de chaque "NPA destinataire" à un hub EP. Suit à cette étape préliminaire la première résolution sur les clients avec la figure 5.6, puis la première résolution sur les destinataires à la figure 5.7. La fonction objectif converge très rapidement, et dans cet exemple simple les deux premières étapes suffisent.

Les résultats obtenus au final sont ceux attendus, en effet un hub EP est construit, respectivement à la médiane des NPAs "clients" et à la médiane des NPAs "destinataires", c'est à dire dans les NPAs 2 et 8.

5.1.4 Swiss Courrier City

Les flots sont considérés intra NPA, comme c'est le plus souvent le cas dans la réalité pour ce service. Des flots sont considérés dans les NPAs 1, 3, 5, 6, 8, 10. Ici un coût d'investissement plus faible a été choisi, d'où le placement massif de hubs. Les résultats sont cohérents, c'est à dire la construction d'un hub pour chacun des flots, sauf pour les NPAs centraux, où deux flots sont alloués à un seul hub. Il est à noter que compte tenu de la similarité des flux, sa localisation dans le NPA 5 ou dans le NPA 6 est arbitraire.

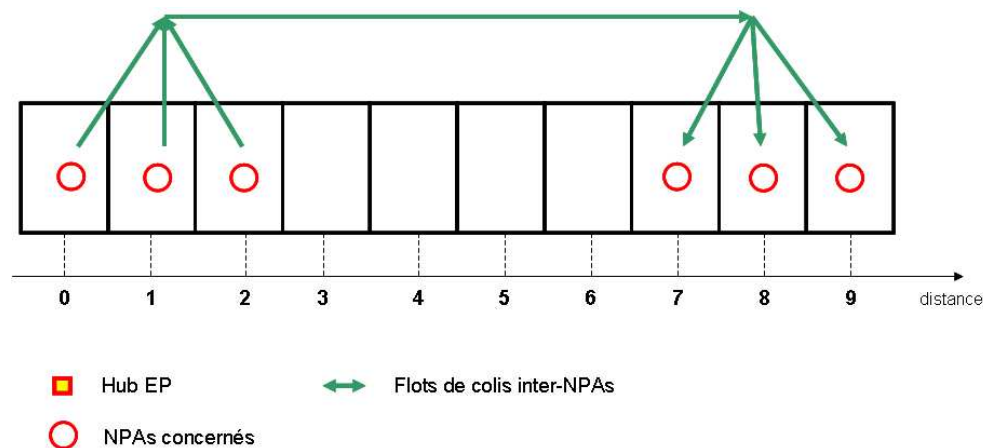


FIG. 5.4 – Situation de départ pour le modèle Intercity en considérant des données artificielles.

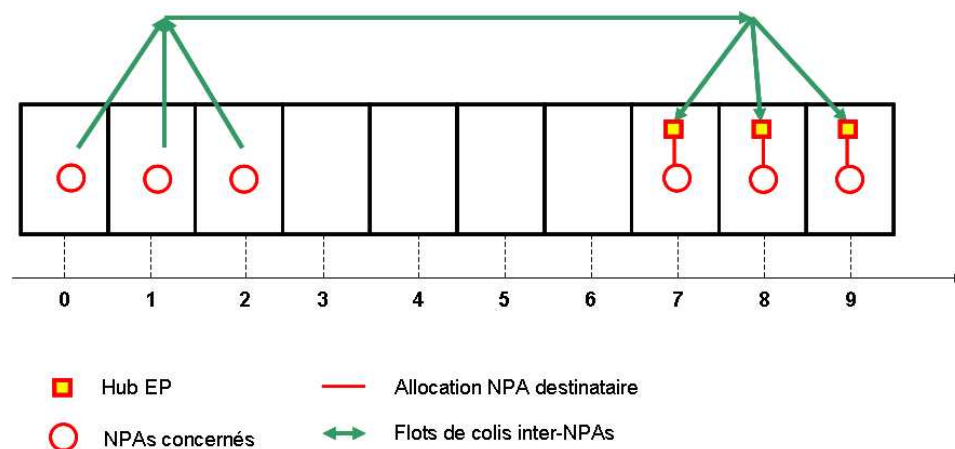


FIG. 5.5 – Phase d'initialisation des allocations destinataires pour le modèle Intercity en considérant des données artificielles.

5.2 Résultats sur les données réelles

Dans cette section nous allons présenter les résultats obtenus avec les données réelles (NPAs à trois chiffres) pour chacun des services. Les allocations et localisations seront présentées sur des cartes réelles. Pour des questions de commodité de lecture, seuls les hubs EP seront représentés, et seulement les allocations s'y rapportant. De plus l'ensemble des paramètres relatifs à chacun des modèles sont regroupés dans un tableau, c'est à dire les données

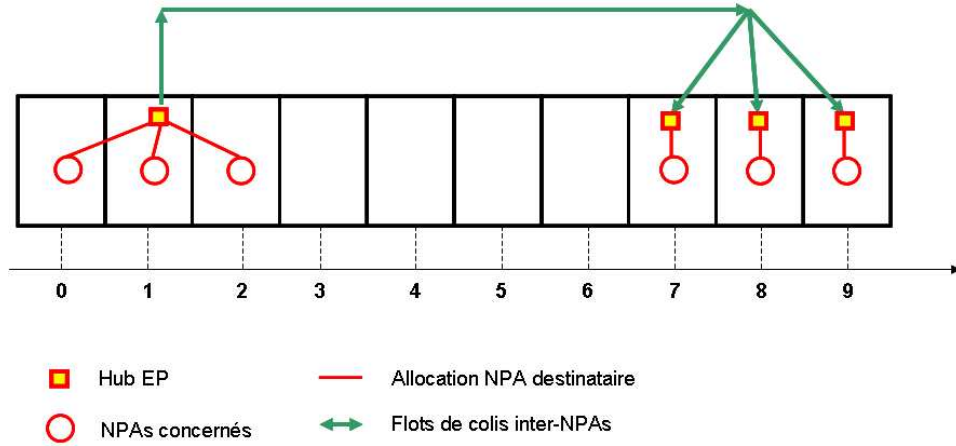


FIG. 5.6 – Première résolution sur les clients pour le modèle Intercity en considérant des données artificielles.

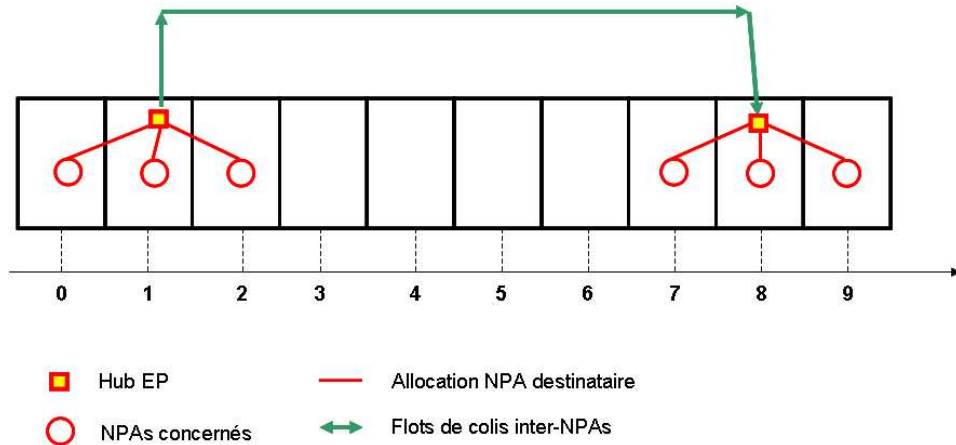


FIG. 5.7 – Première résolution sur les destinataires pour le modèle Intercity en considérant des données artificielles.

caractérisant la taille du programme linéaire, ainsi que les coûts et les vitesses de transport.

5.2.1 Swiss Express Eclair

La simulation s'est déroulée en deux temps : en considérant tout d'abord la région ouest avec la plateforme se trouvant dans le NPA 176, puis considérant la région est avec la plateforme se trouvant dans le NPA 550. Pour se

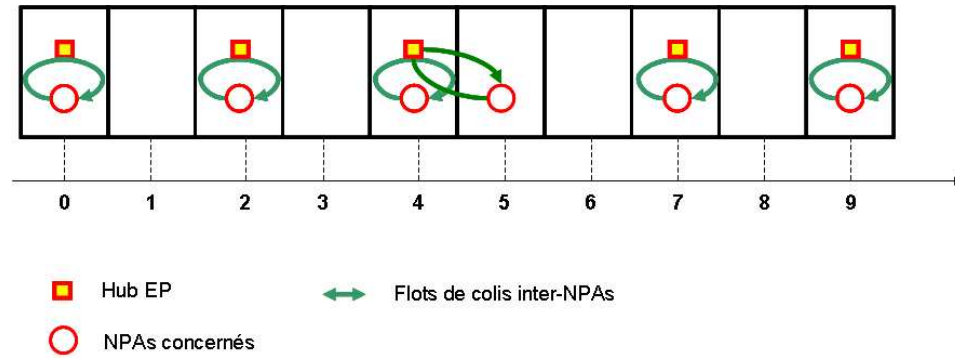


FIG. 5.8 – Résultats pour le modèle City en considérant des données artificielles.

faire les flux ont été séparés en deux parties, à l'aide de la matrice d'allocation des NPAs aux deux plateformes. La séparation est assez facile : en fait jusqu'au NPA 300 l'allocation est faite à la plateforme 176, puis après à la 550.

Les paramètres des modèles sont présentés dans le tableau 5.1 pour la région est, et dans le tableau 5.2 pour la région ouest. Il est à noter que le modèle "ouest" est plus petit que le modèle "est", en effet il concerne moins de données. Les coûts de transport sont les mêmes sur chaque tronçon, peu importe le type de hub impliqué, ceci a été validé par ExpressPost, et reste logique dans le sens où tous les transports sont effectués par la route.

Offices de poste ($l1$)	32
NPAs "destinataires" ($l2$)	126
NPAs pour l'implémentation d'un hub EP ($nombre_NPA$)	801
Hubs PostColis (h)	56
Variables	136207
Coût de transport (C)	1 CHF/(km et colis)
Coût de traitement par un hub EP (F_{int})	2 CHF/colis
Coût de construction d'un hub EP ($invest$)	10000 CHF/hub
Coût de traitement par un hub PostColis (F_{ext})	2 CHF/colis
Vitesse de transport par la route (V)	60 km/h

TAB. 5.1 – Paramètres pour le modèle Eclair concernant la région est

Offices de poste ($l1$)	112
NPA's "destinataires" ($l2$)	384
NPA's pour l'implémentation d'un hub EP ($nombre_NPA$)	801
Hubs PostColis (h)	56
Variables	425873
Coût de transport (C)	1 CHF/(km et colis)
Coût de traitement par un hub EP (F_{int})	2 CHF / colis
Coût de construction d'un hub EP ($invest$)	10000 CHF/hub
Coût de traitement par un hub PostColis (F_{ext})	2 CHF/colis
Vitesse de transport par la route (V)	60 km/h

TAB. 5.2 – Paramètres pour le modèle Eclair concernant la région est (Plateforme 550)

Région ouest-plateforme 176

La figure 5.9 présente les résultats obtenus pour la région ouest. Deux hubs EP ont été construits, l'un dans le NPA 151, l'autre dans le NPA 322. Ils se partagent les allocations des offices de poste et des NPA's destinataires, le hub EP 322 couvrant plutôt la région située au nord de la plateforme, et le hub EP 151 celle se trouvant au sud.

Région est-plateforme 550

La figure 5.10 présente les résultats obtenus pour la région est. Sept hubs EP ont été construits, dans les NPA's 490, 500, 505, 571, 800, 808, 895. La couverture est assez dense et située au nord. Par un examen visuel du fichier de flux et de la zone de couverture du service présentée à la figure 1.1, ces résultats sont logiques, en effet il existe une forte concentration d'envois dans la région nord-ouest de la Suisse.

5.2.2 Swiss Express Lune

Pour ce service le nombre de hubs externes est très important. En effet ce sont tous les offices de poste. La matrice de distances est construite à partir de ceux-ci, la distance entre deux NPA's s'y trouve s'il existe un office de poste dans chacun de ces NPA's. Le "réseau des offices" est donc très dense. Lors du passage à trois chiffres, au moins un office de poste est présent dans chaque NPA (à trois chiffres). De plus le coût de traitement d'un colis par une infrastructure externe est inférieur au coût interne et les coûts de transport par

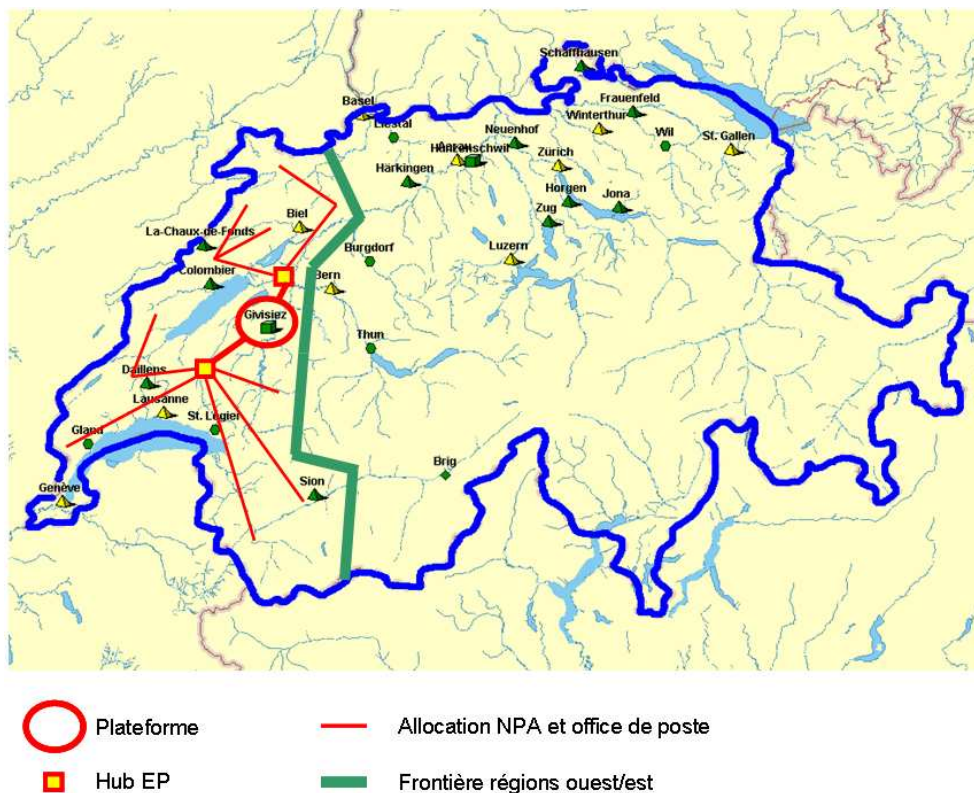


FIG. 5.9 – Résultats pour le modèle Eclair, concernant la région ouest.(Plateforme 176)

la route sont indépendants de la nature du hub impliqué. En outre les flux sont très homogènes à travers la Suisse, contrairement aux produits moins standards (par exemple pour le City les flux importants sont "intra-NPA"). Logiquement les résultats de la simulation indiquent la construction d'aucun hub EP, et par ce fait aucune allocation interne. Le réseau n'a pas besoin d'être complété.

Les paramètres du modèle sont présentés à la figure 5.3. Le réseau des offices de poste pour les NPAs à trois chiffres est "schématisé" à la figure 5.11.

5.2.3 Swiss Express Soir

Faute de résultats convaincants et conformes à la logique en ce qui concerne le placement des hubs EP et les allocations des NPAs destinataires, cette section sera complétée ultérieurement, en espérant obtenir des simulations

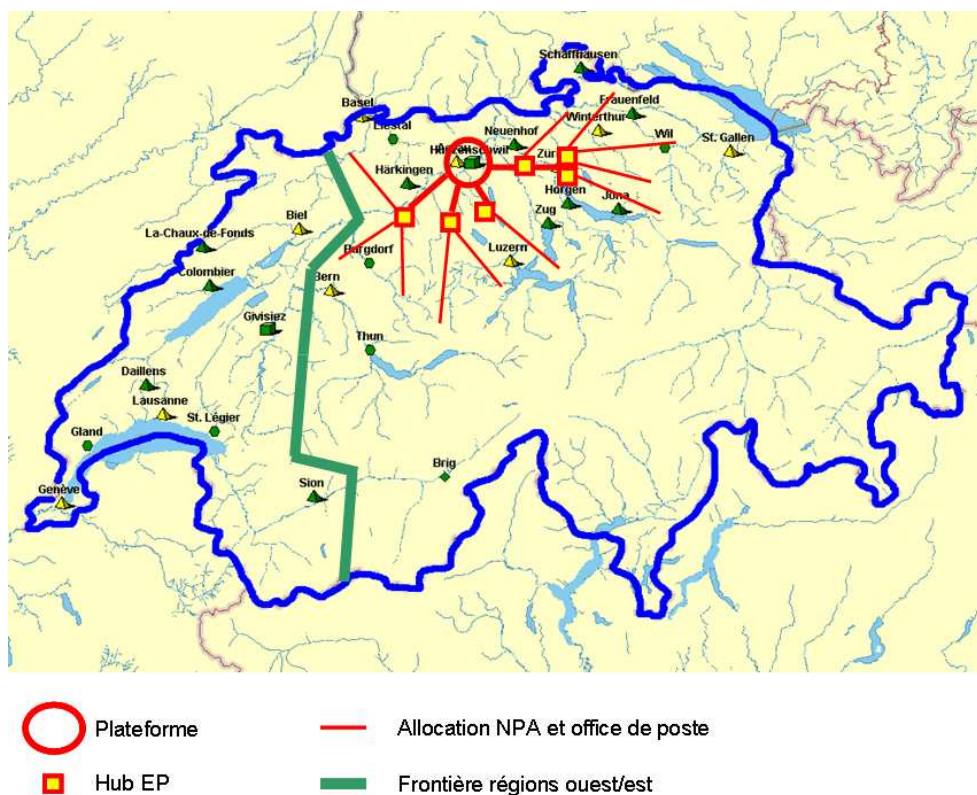


FIG. 5.10 – Résultats pour le modèle Eclair, concernant la région est.

centre de tri 1	151
centre de tri 2	353
centre de tri 3	717
NPA's "destinataires" (l)	552
NPA's pour l'implémentation d'un hub EP ($nombre_NPA$)	801
Hubs PostColis (h)	56
Variables	473865
Coût de transport (C)	1 CHF/(km et colis)
Coût de traitement par un hub EP (F_{int})	2 CHF/colis
Coût de construction d'un hub EP ($invest$)	50000 CHF/hub
Coût de traitement par un hub PostColis (F_{ext})	0.78 CHF/colis
Vitesse de transport par la route (V)	60 km/h

TAB. 5.3 – Paramètres pour le modèle Lune

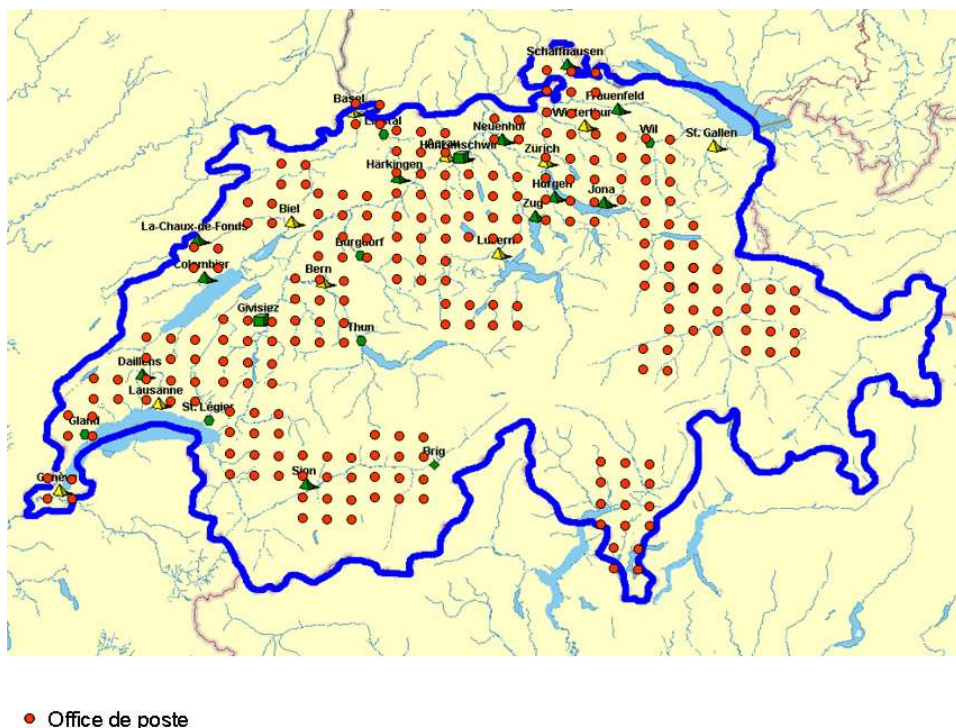


FIG. 5.11 – Résultats pour le modèle Lune.

probantes d'ici la présentation qui aura lieu de 21 août 2006.

5.2.4 Swiss Courrier Intercity

Comme cela a été présenté précédemment la résolution s'est faite en plusieurs temps : en considérant les clients, puis les destinataires, et ainsi de suite. L'arrêt de la procédure s'est faite après convergence de la fonction objectif, soit une différence inférieure à 10000 CHF entre deux étapes successives (soit après cinq étapes). L'ensemble des NPAs "clients" n'est pas exactement le même que l'ensemble des NPAs "destinataires", ce qui est logique, car les flux sont réels et il existe des NPAs avec des colis seulement à l'envoi, et d'autres seulement à la distribution.

Les paramètres du modèle sont présentés à la figure 5.4. Les coûts de transport sont les mêmes qu'ils impliquent un hub EP ou un hub PostMail, de même pour le coût de traitement des colis.

Les résultats sont présentés à la figure 5.12. Des hubs EP ont été construits dans les NPAs 100, 301, 400, 600, 702 et 804. Ces placements correspondent

NPA's "clients" ($l1$)	497
NPA's "destinataires" ($l2$)	577
NPA's pour l'implémentation d'un hub EP ($nombre_NPA$)	801
Hubs PostMail (h)	277
Variables résolution "client"	536567
Variables résolution "destinataire"	622807
Coût de transport par la route (C_{route})	1CHF/(km et colis)
Coût de transport par la train (C_{train})	10CHF/colis
Coût de traitement par un hub EP (F_{int})	2 CHF/colis
Coût de construction d'un hub EP ($invest$)	10000 CHF/hub
Coût de traitement par un hub PostMail (F_{ext})	1 CHF/colis
Vitesse de transport par la route (V_{route})	60 km/h
Vitesse de transport par le train (V_{train})	100 km/h

TAB. 5.4 – Paramètres pour le modèle Intercity

aux villes de Lausanne, Berne, Bâle, Lucerne, Chur et Zürich. Finalement ceci paraît assez logique, en effet chaque hub se trouve à la médiane de régions où les flux sont importants. Comme les trajets en train coûtent bien moins chers que les trajets routiers, le placement des structures internes revient à une minimisation de la distance parcourue par les véhicules.

5.2.5 Swiss Courrier City

Pour ce modèle plusieurs scénarios ont été envisagés. C'est un des produits "Courrier", donc non standard, s'inscrivant dans la logique commerciale des services proposés par ExpressPost, par conséquent très peu externalisé. Les paramètres du premier modèle correspondent à une simulation fidèle de la réalité, les résultats serviront de base de comparaison aux modèles modifiés. Concernant les paramètres il est à noter que le même coût de transport a été choisi, qu'il implique des structures internes ou externes, ce qui a été validé par un responsable d'ExpressPost.

Les résultats pour le premier modèle sont présentés à la figure 5.13. Onze hubs EP ont été construits, dans les NPA's 100, 120, 300, 400, 500, 600, 700, 702, 800, 807, 840. Ces placements sont intuitifs et correspondent dans la majorité des cas aux grandes agglomérations. D'ailleurs tout ceci reste assez fidèle à la réalité actuelle.

Le second modèle est très similaire au précédemment sauf que le coût de

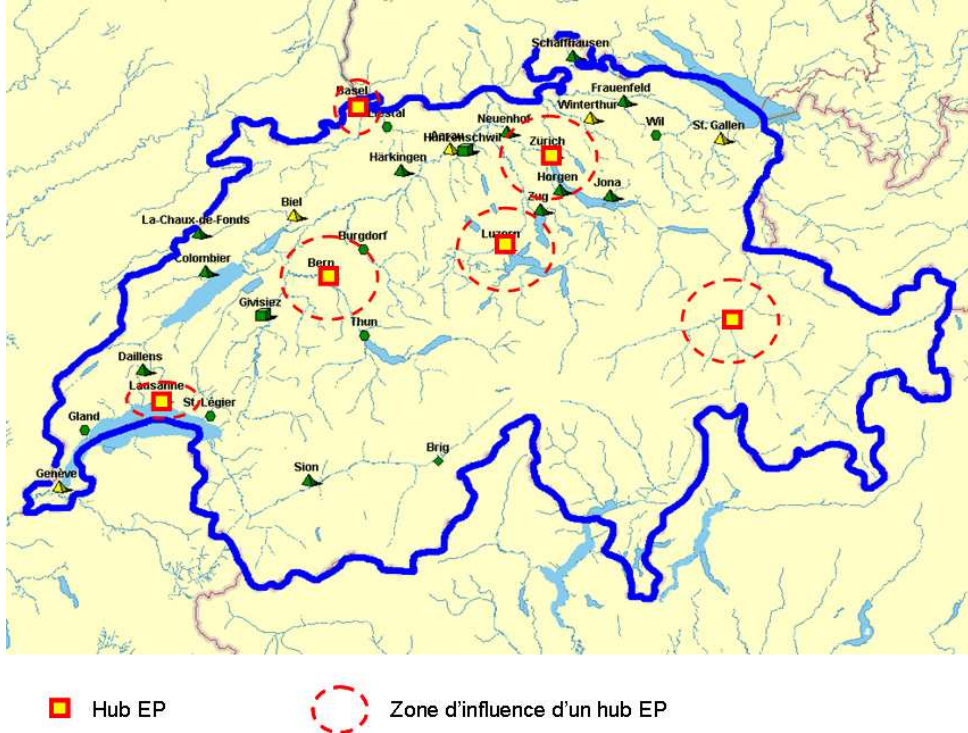


FIG. 5.12 – Résultats pour le modèle Intercity.

Flux différents (l)	538
NPA's pour l'implémentation d'un hub EP ($nombre_NPA$)	801
Hubs PostMail (h)	277
Variables	580765
Coût de transport (C)	1CHF/(km et colis)
Coût de traitement par un hub EP (F_{int})	2 CHF/(km et colis)
Coût de construction d'un hub EP ($invest$)	50000 CHF/hub
Coût de traitement par un hub PostMail (F_{ext})	0.50 CHF/colis
Vitesse de transport par la route (V_{route})	60 km/h

TAB. 5.5 – Paramètres n°1 pour le modèle City

construction d'un hub EP est divisé par 5 (figure 5.14). En fait ceci a pour but de souligner où les besoins en capacité de traitement de colis sont importants, en effet moins le coût de construction sera élevé, plus le nombre de hubs EP sera important et ceux-ci seront placés aux endroits stratégiques. N'oublions pas qu'ici nous ne tenons aucunement compte des capacités des

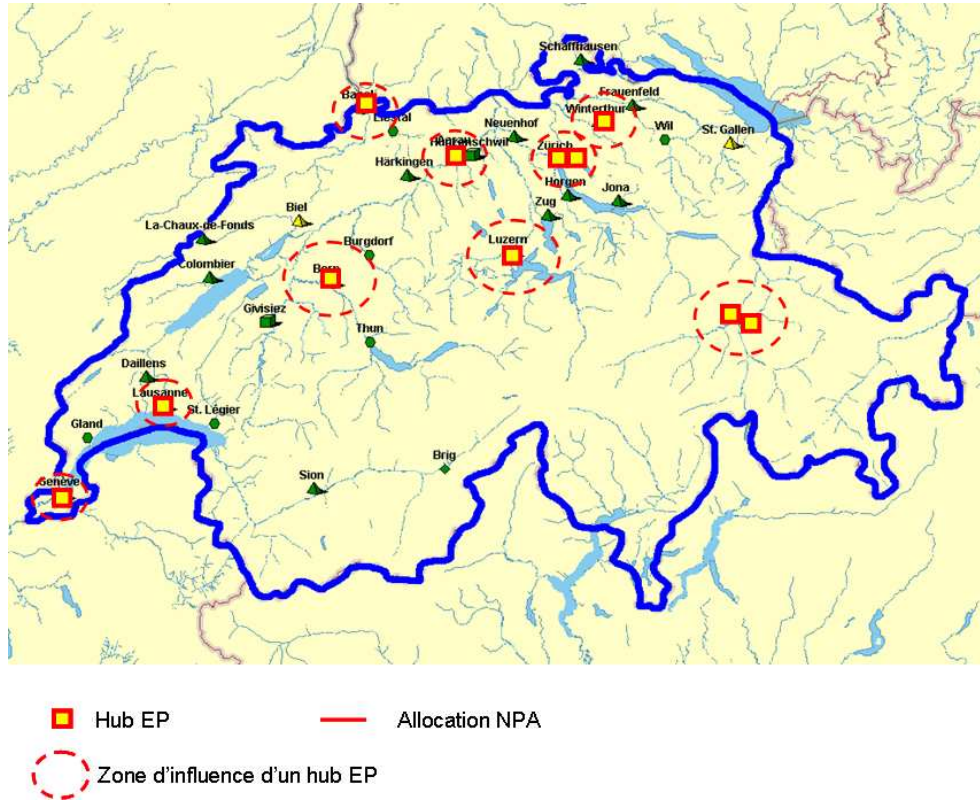


FIG. 5.13 – Résultats pour le modèle City, avec les paramètres 1.

hubs, qu'ils soient internes ou externes.

Flux différents (l)	538
NPA's pour l'implémentation d'un hub EP ($nombre_NPA$)	801
Hubs PostMail (h)	277
Variables	580765
Coût de transport (C)	1CHF/(km et colis)
Coût de traitement par un hub EP (F_{int})	2 CHF/(km et colis)
Coût de construction d'un hub EP ($invest$)	10000 CHF/hub
Coût de traitement par un hub PostMail (F_{ext})	0.50 CHF/colis
Vitesse de transport par la route (V_{route})	60 km/h

TAB. 5.6 – Paramètres n°2 pour le modèle City

Les résultats pour le second modèle sont présentés à la figure 5.14. Par

rapport aux premier, quatre hubs supplémentaires ont été placés dans les NPAs 101, 302, 402, 803. Les hubs complémentaires ont été rajoutés dans les villes de Lausanne, Berne, Bâle et Zürich, là où les flux sont prépondérants.

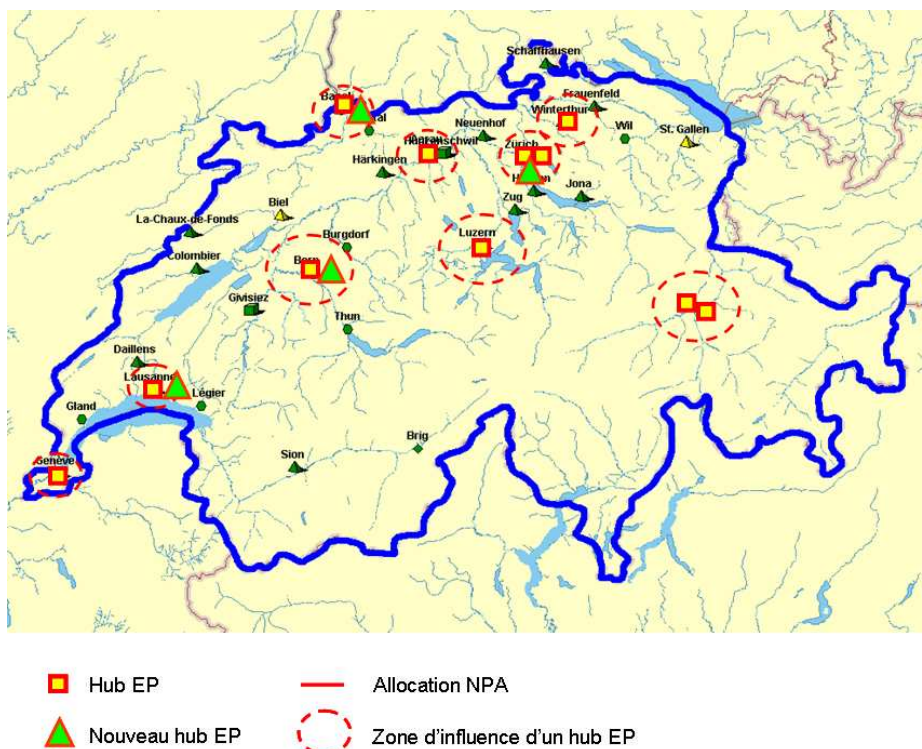


FIG. 5.14 – Résultats pour le modèle City, avec les paramètres 2.

Le troisième modèle est proche du premier sauf que le coût de traitement d'un colis par un hub EP a été doublé (figure 5.15). Ceci a pour conséquence de pénaliser l'allocation à un hub EP par rapport à un hub PostMail, ayant un coût de traitement nettement moins cher. Normalement les hubs EP les moins "significatifs" devraient être supprimés.

Les résultats sont présentés à la figure 5.15. Par rapport au premier modèle le hub situé à Aarau a été supprimé, les flux de colis concernant cette région ont été préférentiellement attribués à des hubs PostMail. Ils ne représentent pas une proportion importante des colis City, ce qui est normal.

Flux différents (l)	538
NPA's pour l'implémentation d'un hub EP ($nombre_NPA$)	801
Hubs PostMail (h)	277
Variables	580765
Coût de transport (C)	1CHF/(km et colis)
Coût de traitement par un hub EP (F_{int})	4 CHF/(km et colis)
Coût de construction d'un hub EP ($invest$)	50000 CHF/hub
Coût de traitement par un hub PostMail (F_{ext})	0.50 CHF/colis
Vitesse de transport par la route (V_{route})	60 km/h

TAB. 5.7 – Paramètres n°3 pour le modèle City

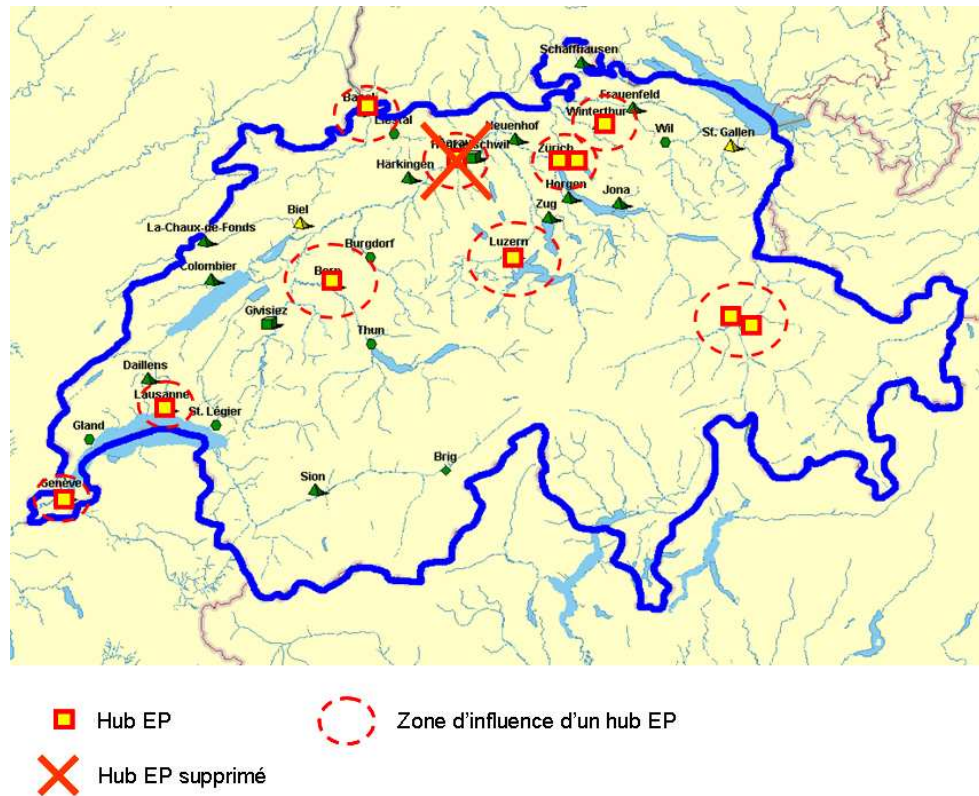


FIG. 5.15 – Résultats pour le modèle City, avec les paramètres 3.

5.2.6 Superposition

La figure 5.16 présente les résultats superposés pour les modèles Eclair, Lune, Intercity et City. Il est concevable que la majorité des hubs EP dé-

terminés, pour chacun des modèles avec des données spécifiques ne vont pas se confondre. Malgré cela des points stratégiques apparaissent, comme certaines grandes agglomérations ou points très actifs en terme de flux de colis. Les villes de Lausanne, Berne, Bâle, Lucerne, Zürich et Chur contiennent des hubs des différents modèles. Particulièrement Zürich où au moins un de chaque modèle est présent.

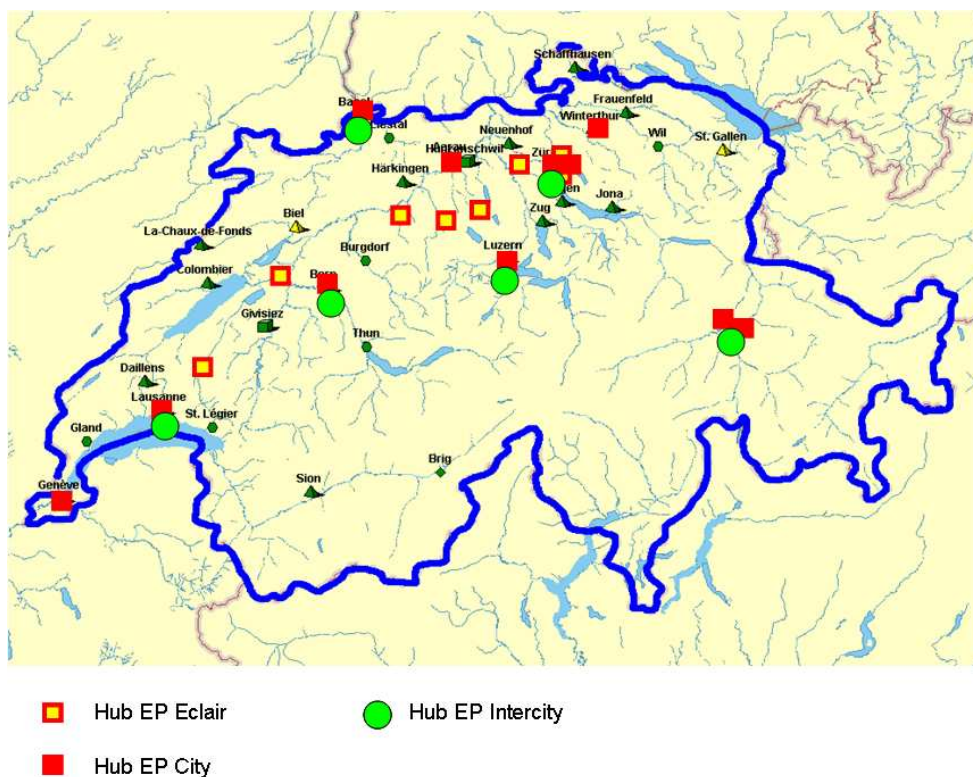


FIG. 5.16 – Superposition des résultats présentés pour les modèles Eclair, Lune, Intercity et City.

Au final quelques remarques générales peuvent être faites concernant les résultats : les coûts internes sont assez similaires aux coûts externes que ce soit pour le transport ou le traitement des colis. Dans ce cas en général lors de la résolution des modèles le réseau des hubs de départ formé par les hubs externes est complété par les hubs EP, ceci afin de minimiser les coûts de transports, et par conséquent les distances parcourues. Les hubs EP sont le plus souvent placés à la médiane de NPAs où les flux de colis sont les plus importants et là où aucun hub externe n'est situé.

Conclusion

Au terme de cette étude nous obtenons des résultats cohérents pour l'identification du nombre et de l'emplacement des centres de redistribution, et ce pour chacun des produits proposés par ExpressPost sauf le service Soir dont les résultats seront présentés par la suite. Une tendance générale apparaît dans le placement de ces "hubs", qui ressemble à la configuration réelle. Cinq modèles ont été développés et implémentés donc réutilisables pour tester diverses simulations, chacun spécifique aux exigences des produits s'y rapportant. Un travail important sur les données a également été effectué sur les données, les fichiers mis en forme peuvent également être réutilisés pour d'autres applications.

Des éléments restent et peuvent être approfondis. En effet le passage sur un nombre de NPAs plus important (passage aux quatre chiffres). De plus plusieurs scénarios sont envisageables pour chacun des services, il est possible d'insérer des flux de colis différents. En outre il serait souhaitable d'analyser la variabilité des résultats en fonction de la fluctuation des paramètres de départ, comme cela a été ébauché avec les trois modèles pour le produit City. Enfin l'ajout de paramètres supplémentaires qui n'ont pas été décrits ici, comme par exemple des coûts plus détaillés permettraient de raffiner les résultats.

Je tiens à remercier toutes les personnes m'ayant encadrer pendant ce projet. Merci tout particulièrement au Prof. Michel Bierlaire pour ses précieux conseils et le suivi stratégique ; à M. Daniel Marbach qui était mon interlocuteur principal au sein d'ExpressPost, à l'origine de pratiquement toutes les informations et données, grâce à qui j'ai pu être inséré dans le projet comme un véritable collaborateur de l'entreprise ; à Carolina pour le suivi tout au long du travail ; également à Eric pour son aide concernant le démarrage de la partie informatique du projet.

Bibliographie

- [1] Waiman Cheung, Lawrence C. Leung, Y. M. Wong. *Strategic Service Network Design for DHL Hong Kong*. Interfaces 31 : 4 July-August 2001 (pp.1-14).
- [2] Christian Stummer, Karl Doerner, Axel Focke, Kurt Heidenberger. *Determining Location and Size of Medical Departments in a Hospital Network : A Multiobjective Decision Support Approach*. Health Care Management Science 7, 63-71, 2004.
- [3] Pr Harper, S. Phillips, Je Gallagher. *Geographical simulation modelling for the regional planning of oral and maxillofacial surgery across London*. Journal of the Operational Research Society (2005) 56, 134-143.
- [4] Timothy W. Butler, Kirk R. Karwan, James R. Sweigart. *Multy-Level Strategic Evaluation of Hospital Plans and Decisions*. Journal of Operational Research Society, Vol 43, N°7(Jul.,1992), 665-675.
- [5] Kazuyoshi Hidaka, Hiroyuki Okano. *Simulation-based approach to the warehouse location problem for a large-scale real instance*. Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference ed. S.Andradottir, K. J. Healy, D.H. Withers, and B. L. Nelson.
- [6] Vladimir Hanta. *Planar multifacility location- the location-allocation problem*. Proceedings of ALGORITHMY 2002, Conference on Scientific Computing, pp. 260-267.
- [7] R. McDonald, P.A. Durr, H. Elliott, J. Greene. *Application of a geometric network solution to the allocation of abattoir samples to regional laboratories*. GISVET'04-Pre Conference Draft.
- [8] Berna Dengiz, Fulya Altiparmak, Alice E. Smith. *A genetic algorithm approach to optimal topological design of all terminal networks*.
- [9] Sun Microsystems <http://java.sun.com/j2se/1.4.2/docs/api/index.html>.
- [10] Ilog Cplex <http://www.ilog.com/products/cplex/>.